



ANEJO 8: ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. ESTADO ACTUAL	2
3. DIAGNÓSTICO DE PROBLEMAS	5
4. MÉTODOS DE PROTECCIÓN Y REGENERACIÓN DE LA COSTA	6
5. ALTERNATIVAS ADOPTADAS	7
6. ALTERNATIVA “0”	7
6.1. Descripción	7
7. ALTERNATIVA 1: ALIMENTACIÓN ARTIFICIAL + DIQUES ARRECIFE	8
7.1. Descripción	8
7.2. Dimensionamiento	8
7.3. Procedencia de los materiales	32
7.4. Proceso constructivo	35
7.5. Valoración económica	37
8. ALTERNATIVA 2: ALIMENTACIÓN ARTIFICIAL + ESPIGONES EN L	39
8.1. Descripción	39
8.2. Dimensionamiento	39
8.3. Procedencia de los materiales	48
8.4. Proceso constructivo	48
8.5. Valoración económica	50
9. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA	52
10. BIBLIOGRAFÍA	52

1. INTRODUCCIÓN

Para poder llevar a cabo la regeneración de un tramo de costa hay que estudiar todas las variables que intervienen en la evolución y el estado del litoral. Debido a muchos factores, entre ellos las actuaciones antrópicas, la línea de costa va cambiando constantemente. Las actuaciones antrópicas que afectan de mayor medida al desarrollo de la línea de costa suelen ser: la edificación dentro del Dominio Público Marítimo Terrestre o las actuaciones ejecutadas para regenerar el tramo de costa.

Por otra parte, el mal diseño, la mala ejecución o un criterio erróneo en las obras de protección y regeneración han generado distintos problemas en el propio tramo de estudio o en las zonas cercanas.

Por eso es imprescindible realizar un buen estudio de la situación en la que se encuentra la costa y poder escoger y adoptar la alternativa idónea para resolver el problema. Para las diferentes alternativas se tendrán en cuenta y se valorarán todos los aspectos que modifiquen el estado actual de la costa.

Para poder seleccionarla en el presente anejo se van a valorar las diferentes alternativas con diferentes criterios teniendo en cuenta la problemática de la playa.

2. ESTADO ACTUAL

La playa de les Deveses se sitúa al norte del término municipal de Denia y se encuentra limitado por un espigón transversal al sur y por la playa de Anna al norte, que finaliza con el río El Racons. Longitudinalmente, la playa queda limitada por una serie de viviendas y por un cordón dunar muy deteriorado.

El tramo de estudio se puede dividir en dos subtramos ya que cada uno de ellos tiene unas características diferentes. El primer subtramo se encuentra al sur de la playa, junto al espigón de Les Deveses, y tiene una longitud aproximada de 500 metros. El otro subtramo tiene una longitud de 1500 metros y se encuentra al norte de la playa.



Figura 1: Subtramos playa de Les Deveses. (Fuente: Google Earth)

- Subtramo 1

En el subtramo 1 se puede apreciar que se han ejecutado diversas obras para estabilizar la playa y también para evitar que la acción del mar afecte a las edificaciones cercanas. Estas actuaciones se resumen en un espigón al final del tramo de costa y una serie de defensas longitudinales, compuestas por una protección de escollera y dos muros de hormigón.

El espigón hace de efecto barrera en el transporte de sedimentos, produciendo erosión a sotamar del espigón y sedimentación al otro lado del espigón.

La primera defensa longitudinal (color rojo en la Figura 7) está situada en la zona donde se produce erosión. Esta sirve para proteger a las edificaciones situadas en primera línea de playa de la acción del mar y protege a la costa de la erosión producida por el espigón.



Figura 2: Actuaciones subtramo 1 (Fuente: Google Earth)

La siguiente defensa longitudinal (color amarillo Figura 7) está compuesta por muros de hormigón, ejecutados para proteger a las edificaciones de la acción del mar, en este caso tanto en temporales como en régimen medio.

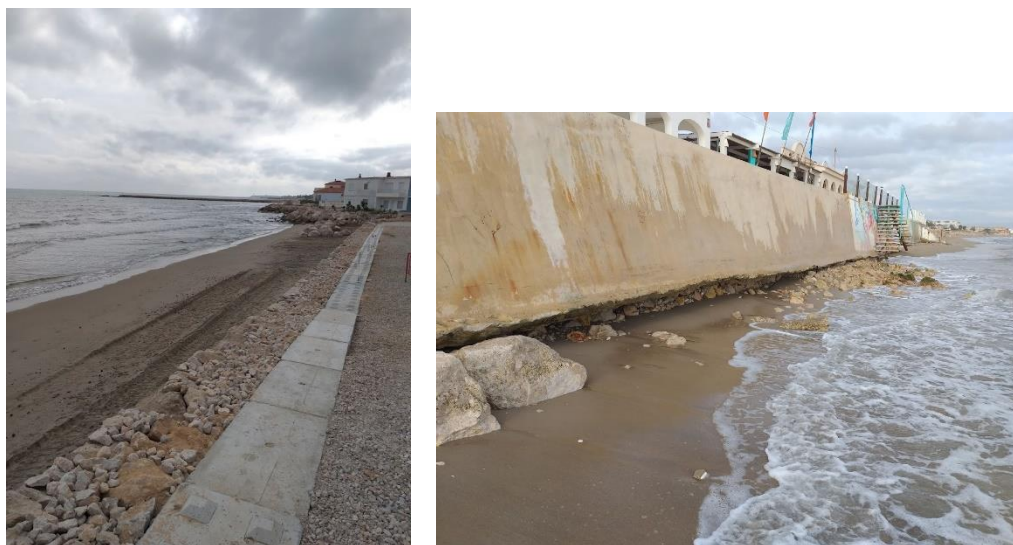


Figura 3: Defensa Longitudinal: Muros de hormigón subtramo 1 (Fuente: Elaboración propia)

- Subtramo 2

En el subtramo 2, al igual que en el subtramo 1, no hay cordón dunar, este ha sido sustituido por edificaciones en primera línea de playa. Hay en algunos tramos donde este cordón está aislado, aunque sigue intacto debido a que esas parcelas no tienen edificaciones.



Figura 4: Estado actual Subtramo 2 (Fuente Elaboración propia)

En esta zona la playa tiene más arena, la anchura va aumentando conforme te vas dirigiendo al norte, aumenta desde los 8 metros de anchura hasta los 38 metros.

Las edificaciones que están en primera línea de playa están protegidas mediante espigones longitudinales situados en las propias parcelas para protegerlas de la acción del mar.



Figura 5: Estado actual Subtramo 2 (Fuente: Elaboración propia)

Este subtramo está en regresión ya que la línea de costa está retrocediendo, pero no está en el estado erosivo en el que está el subtramo 1.

3. DIAGNÓSTICO DE PROBLEMAS

Como se ha ido estudiando hasta ahora el tramo de estudio de la playa se muestra en regresión debido a una serie de problemas o factores.

Estos problemas se pueden resumir en:

- **Carácter erosivo de la costa.**

Como se ha comprobado en el ANEJO 07: EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA y en el ANEJO 05: DINÁMICA LITORAL, la playa de Les Deveses tiene un carácter erosivo. Antes de que se ejecutaran las actuaciones y se invadiera el cordón litoral se mostraba una tendencia a la erosión que era equilibrada por el sistema dunar.

Este carácter erosivo es originado por la curvatura que forma el Golfo de Valencia. A partir del Puerto de Oliva la curvatura comienza a ser mayor, provocando que la dirección de la costa varíe poco a poco y provocando a su vez que esta zona se comporte como una bahía. Estos dos efectos generan un cambio en el sentido de transporte de sedimentos.

De Oliva hasta el río Racons el transporte va dirección NW-SE y en la costa de Denia la dirección va de SE-NW. Esto hace que en la playa de Les Deveses se genere un transporte de sedimentos bajo, ya que es donde la dirección cambia. Esto más el poco volumen de transporte de sedimentos en la costa de Denia generan este estado de erosión.

- **Efecto Barrera del espigón de Les Deveses.**

El espigón situado al sur de la playa de Les Deveses hace de efecto barrera en el transporte de sedimentos. Como se ha comprobado con anterioridad, el espigón produce erosión a sotamar, justo en la playa de Les Deveses, y almacena sedimentos al otro lado del espigón. Esto produce un desequilibrio en el tramo de costa de Les Deveses.

- **Destrucción cordón dunar.**

La tendencia a edificar en la costa de Les Deveses en los últimos años ha provocado la destrucción casi total del cordón dunar. Esto provoca un desequilibrio en la costa ya que el sistema dunar regula los sedimentos en dirección transversal a la costa regulando de forma constante el perfil de la playa.

Por otra parte, la destrucción de dicho cordón también conlleva a la destrucción del ecosistema propio de los sistemas dunares.

- **Dominio Público Marítimo Terrestre.**

Como se ha estudiado y analizado en el ANEJO 02: TOPOGRAFÍA, BATIMETRÍA, USOS DEL SUELO Y DPMT la mayor parte de la longitud de la costa está invadida por edificaciones que no cumplen las servidumbres exigidas por la Ley de Costas. Estas edificaciones no tuvieron en cuenta el impacto que podían generar al medio ambiente.

Esto origina una serie de problemáticas relacionado con la destrucción del cordón dunar y las inundaciones.

- Inundación.

El propio estado de la costa, los fuertes temporales que producen cada vez más daños y el aumento del nivel del mar debido al cambio climático generan un riesgo de inundación en prácticamente toda la playa de Les Deveses.

4. MÉTODOS DE PROTECCIÓN Y REGENERACIÓN DE LA COSTA

En este apartado se describe los métodos que se suelen emplear para la regeneración y protección de la costa.

Como se acaba de mencionar existen obras de protección y obras de regeneración. Las obras de protección son las que defienden el tramo de costa de la acción del oleaje; y las obras de regeneración son las encargadas de devolver al tramo de costa a una situación pasada.

Con esto se puede realizar la primera clasificación, respecto a su funcionalidad:

- **Actuaciones blandas:** *“Aquellas que, tras su puesta en funcionamiento, y en el caso de no ser efectiva, la costa no quedara peor de lo que estaba originalmente, antes de actuar; la obra blanda es reversible o de fácil desmantelamiento.”* Aquellas que no alteran sustancialmente la dinámica litoral de la zona de actuación, permitiendo la continuidad de la dinámica litoral a través de ella.” (VolumenIII.ActuacionesCosteras.pdf, s. f.)
- **Actuaciones duras:** *“Aquellas que interrumpen total, o casi en su totalidad, el transporte sólido litoral a través de ella, aislando el tramo de actuación del resto de la unidad y por tanto de la dinámica litoral del sector.”* Aquellas que, tras su puesta en funcionamiento, y en el caso de no ser efectiva, la costa puede quedar peor de lo que estaba originalmente, antes de actuar; la obra dura es, en general, irreversible o de difícil desmantelamiento.” (VolumenIII.ActuacionesCosteras.pdf, s. f.)

Por otro lado, se pueden clasificar de la siguiente forma:

- **Técnicas estructurales:** *“Son aquellas en las que se emplean estructuras rígidas con el objeto de detener la recesión de la costa y/o forzar el depósito de materiales sedimentario. Las estructuras se sitúan en la línea de costa, sobre la misma, apoyándose en ella o frente a ella.”* (VolumenIII.ActuacionesCosteras.pdf, s. f.). Estas se dividen en:
 - Defensas longitudinales.
 - Defensas exentas. (Diques arrecife)
 - Defensas transversales.

- **Técnicas no estructurales:** *“Son aquellas en las que no se emplean estructuras para detener la recesión de la costa y/o forzar el depósito de materiales sedimentarios. Pueden apoyarse en estructuras, que no son de defensa y/o de retención, y que en cualquier caso no se apoyan en la costa.” (VolumenIII.ActuacionesCosteras.pdf, s. f.)*

Estas se dividen en:

- Alimentación artificial.
- Trasvase.
- Revegetación.
- Retirada
- Regeneración dunar.

5. ALTERNATIVAS ADOPTADAS

Las alternativas estudiadas son económica y técnicamente viables y resolverán los problemas que se han diagnosticado en el tramo de estudio. Para poder analizarlas se tendrán en cuenta todos los aspectos que son influidos por las distintas actuaciones.

Para analizar la alternativa más favorable se ha realizado un estudio comparativo basándose en los siguientes aspectos:

- Nivel de impacto ambiental.
- Alcance de la recuperación de la línea de costa.
- Grado de efectividad.
- Estimación del presupuesto.
- Estimación de los volúmenes necesarios de aportación de material.

En total se trata de tres alternativas estudiadas incluyendo la alternativa “0” de no actuación.

6. ALTERNATIVA “0”: No Actuación.

6.1 Descripción:

Esta alternativa se tiene que considerar en todos los proyectos de regeneración de costas. Consiste principalmente en no actuar y dejar la playa en el estado actual. Hay que tenerla en cuenta porque en ocasiones es mejor no actuar debido a las características de la costa.

En esta alternativa se deja que la línea de costa del tramo de estudio siga evolucionando según el carácter erosivo de la costa y del transporte de sedimentos sin realizar ningún tipo de actuación o de intervención.

Como se ha observado y analizado en la evolución de la línea de costa, al igual que en la dinámica litoral, la libre evolución del tramo de costa no es sostenible, ya que el tramo de Les Deveses se encuentra en estado crítico debido a la erosión.

En esta alternativa no se ejecuta ninguna actuación evitando así cualquier afección al medio natural en las zonas tanto de dragado como de vertido. También evitando el impacto que generan las obras de protección y regeneración.

Por todo esto con esta alternativa los procesos de erosión continuarían provocando un retroceso en la línea de costa y generando así una vulnerabilidad en las edificaciones costeras

en periodos de temporales. Por lo que no solo no cumple el objetivo del proyecto, sino que pone en riesgo a las edificaciones cercanas y a las personas que viven en ellas, debido a los temporales y a la subida del nivel del mar.

7. ALTERNATIVA 1: Alimentación artificial y Diques Exentos.

7.1 Descripción

Esta alternativa consiste en una propuesta de equilibrio dinámico con la ejecución de un dique exento situado a unos 200 metros desde la línea de costa. Este dique exento estará totalmente sumergido y tendrá como mínimo un metro de lámina libre de agua.

Al ser una propuesta de equilibrio dinámico este dique funcionará como estructura de protección y contención lateral de sedimentos. Pero para ello primero se ha de establecer un ancho mínimo de la playa. Este ancho mínimo se tendrá que obtener mediante alimentación artificial, ganando terreno al mar y aunque se podría realizar alguna expropiación en las zonas donde no se respeta la línea de Dominio Público Marítimo Terrestre, en este caso no se van a realizar ninguna expropiación.

Este nuevo frente litoral estará compuesto por la playa seca con un ancho mínimo y por el sistema dunar completamente regenerado.

Como se trata de un equilibrio dinámico se prevé que se produzca un transporte de sedimentos.

7.2 Dimensionamiento

Dique Exento.

1. Altura de ola para el cálculo

En primer lugar, se dimensiona el dique exento en planta y en alzado. Para ello se va a emplear la misma metodología que para el cálculo de diques exentos sumergidos.

Para comenzar con el dimensionamiento de los diques se ha de calcular la altura de ola de cálculo (H_{cal}). Dependiendo de esta altura de ola, las olas que afecten a las obras de protección y regeneración de la playa corresponden o al régimen de oleaje de olas ya rotas (H_b) o al régimen original en aguas profundas (H_{so}), sin que se produzca rotura de oleaje.

Por lo que se procede a calcular:

- Altura de ola significativa en aguas profundas (H_{so})
- Altura de ola en condiciones de rotura (H_b)
- Altura de ola para el cálculo de los diques (H_{cal})

Altura de ola significativa en aguas profundas

Tomando como referencia la ROM 0.3-91 “Recomendaciones para Oleaje y Atlas de Clima Marítimo en Litoral español” se aprecia que la playa de estudio pertenece al área VII, por lo que se van a utilizar la información proporcionada por los cuadros D y E. El cuadro D proporciona los Regímenes Extrémos Escalares y el cuadro E adjunta los Registros Instrumentales: Correlaciones, Altura de ola / Periodo en Temporales.

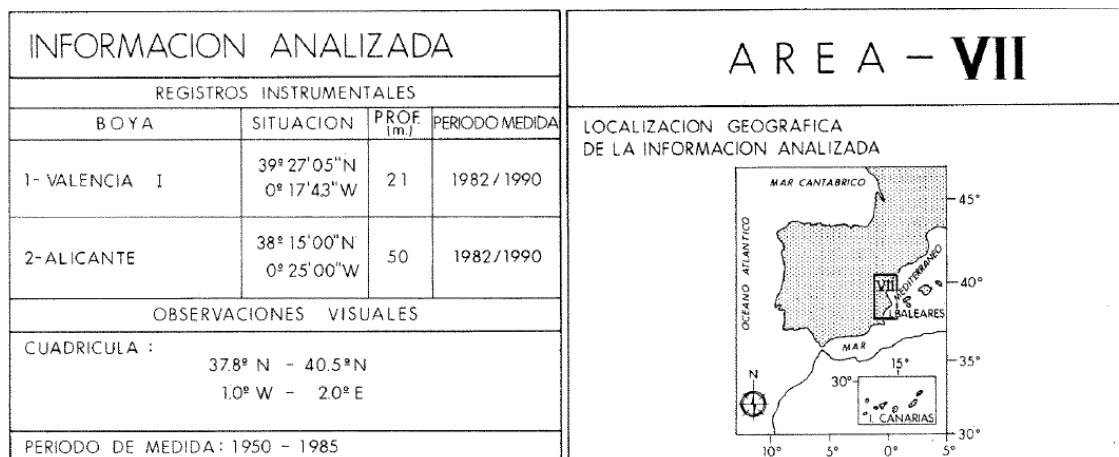


Figura 6: Localización e información analizada del área VII. (Fuente: ROM 0.3-91)

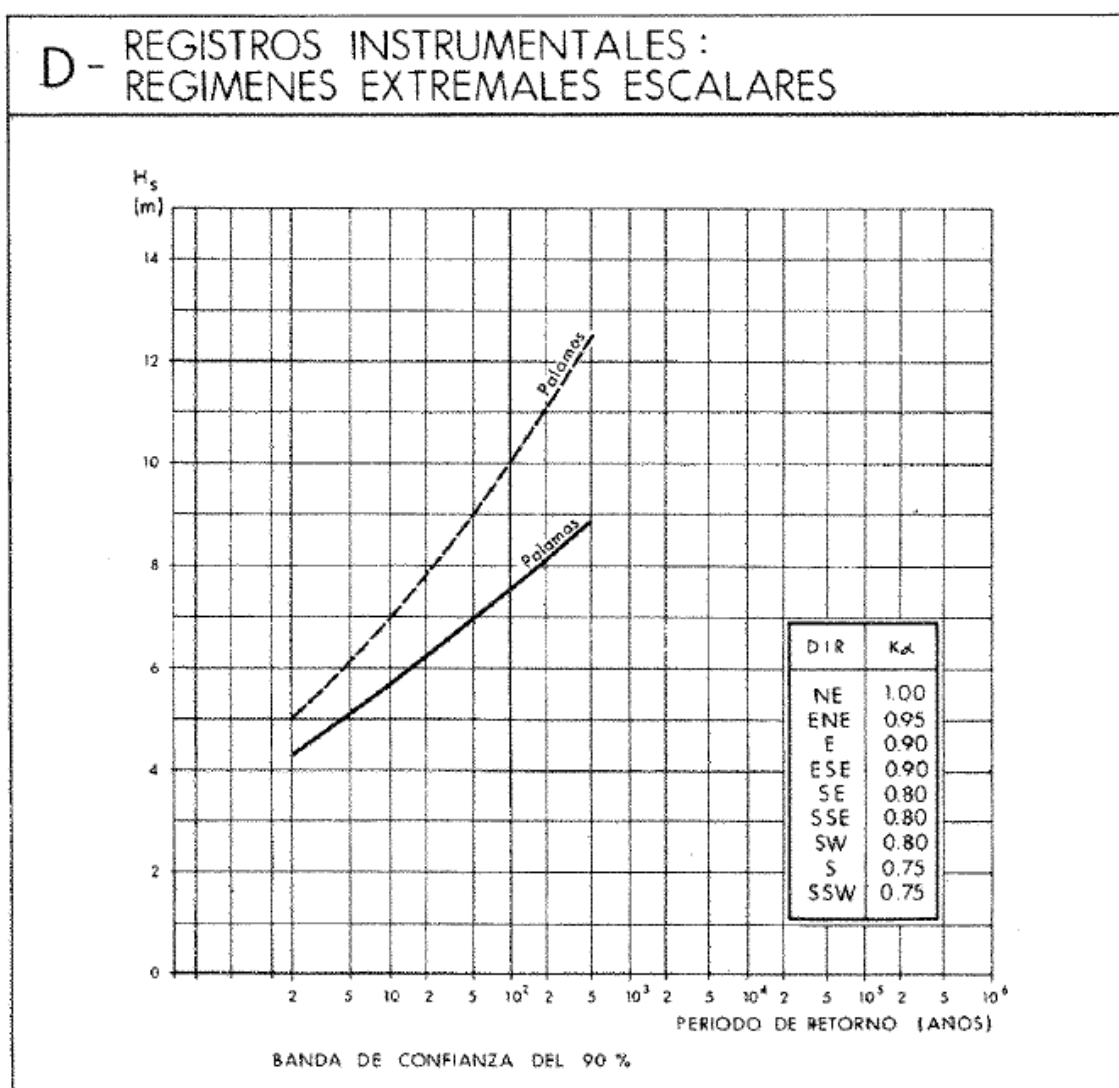


Figura 7: Cuadro D: Regímenes Extrémas Escalares. (Fuente: ROM 0.3-91.)

E - REGISTROS INSTRUMENTALES : CORRELACIONES ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES					
BOYA	$P = H_s / L_T =$ $= \frac{2\pi H_s}{g T^2}$	T_p / \bar{T}	RELACION FINAL $H_s \text{ (m)}$ $T_p \text{ (s)}$	VALORES DE DISEÑO	
				$H_s \text{ (m)}$	$T_p \text{ (s)}$
VALENCIA I	0.025 ~ 0.04	≈ 1.25	$T_p = (5-6.3)\sqrt{H_s}$	3	8.5-11
				5	11-14
				7	13-16.5
ALICANTE	0.025 ~ 0.04	≈ 1.25	$T_p = (5-6.3)\sqrt{H_s}$	3	8.5-11
				5	11-14
				7	13-16.5

Tabla 1: Cuadro E: Correlaciones, Altura de ola/ Periodo en Temporales. (Fuente: ROM 0.3-91)

Tal y como se indica en la ROM, "Las altura de ola significativa asociada a un periodo de retorno en aguas profundas en una dirección determinada, puede obtenerse a partir de los resultados instrumentales disponibles por medio del coeficiente KR" (ROM 0_3-91.pdf, s. f.). Por lo que mediante la siguiente ecuación se obtiene la altura de ola significativa en aguas profundas:

$$H_{s0} = \frac{K_\alpha}{K_r} H_{s,r}$$

Siendo:

- H_{s0} = Altura de ola significativa en aguas profundas asociada a un periodo de retorno (m).
- $H_{s,r}$ = Altura de ola significantes asociada a un periodo de retorno obtenida del régimen extremal escalar instrumental (m).
- K_α = Coeficiente de reparto direccional en la dirección considerada.
- K_r = Coeficiente de refracción-Shoaling en un punto de medida para la dirección considerada y el periodo establecido a dicha altura de ola.

Considerando que la playa de Les Deveses pertenece a la zona de Valencia I, área VIII, se extraen los valores de $K\alpha$ y Kr de la ROM 0.3-91, tal y como se muestra en las siguientes tablas.

NE	ENE	E	ESE	SE
1,00	1,00	0,90	0,80	0,70

Tabla 2: Coeficiente direccional $K\alpha$ Valencia I. (Fuente: ROM 0.3-91)

Área VII	Punto	Dir \ T (s)	7	9	11	13	15	17
		Dir						
VALENCIA I		NE	0.94	0.88	0.87	0.83	0.87	-
		ENE	0.94	0.9	0.79	0.75	0.8	-
		ESE	0.94	0.94	0.93	0.95	0.98	-
		SE	0.94	0.91	0.93	0.95	0.96	-
		SE	0.94	0.89	0.89	0.89	0.89	-

Tabla 3: Coeficiente de refracción-Shoaling Valencia I. (Fuente: ROM 0.3-91)

Faltaría obtener la altura de ola significativa asociada a un periodo de retorno obtenida por el régimen extremal. Esta altura de ola se puede obtener mediante los datos proporcionados por la ROM 0.3-91 para el área VII o mediante los datos obtenidos en el ANEJO 3. CLIMA MARÍTIMO.

Para realizarlo de forma más precisa se va a obtener la H_{sr} a través de los datos obtenidos en el ANEJO 3.

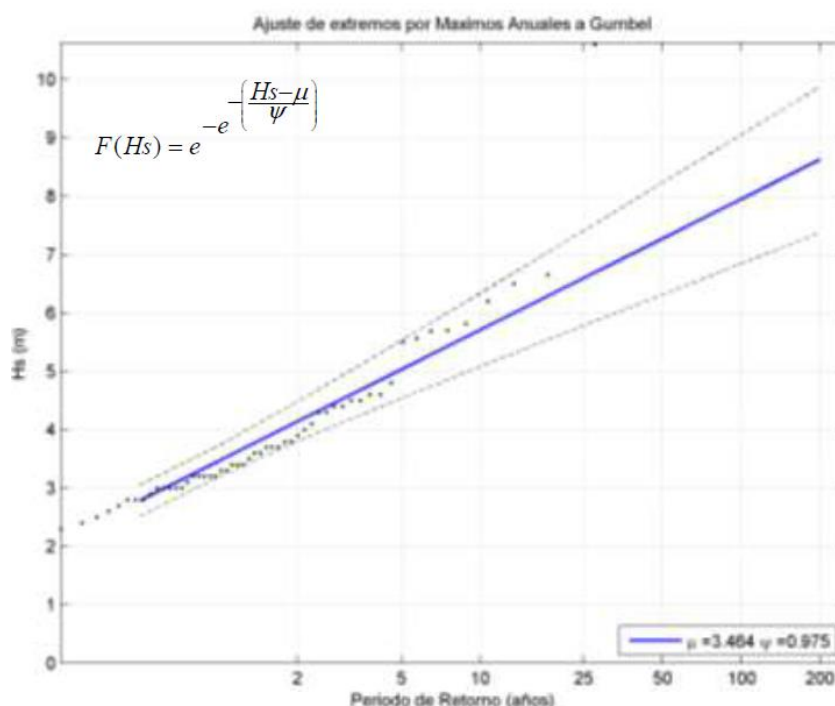


Figura 8: Ajuste de extremos a la función de distribución de Gumbel. (Fuente: Proyecto Les Deveses)

Aplicando la formulación se obtiene las alturas de ola significativa en aguas profundas en función del periodo de retorno y de la dirección del oleaje, tal y como se muestra en la siguiente Tabla.

	T (años)	2	5	10	20	50	100	200
	Hsr	4.1	5	5.7	6.1	7.2	8	8.7
	Tp,min	10.12	11.18	11.94	12.35	13.42	14.14	14.75
	Tp,max	12.76	14.09	15.04	15.56	16.90	17.82	18.58
	Tp	11	13	13	13	15	15	15
Hso (m)	NE	4.71	6.02	6.87	7.35	8.28	9.20	10.00
	ENE	5.19	6.67	7.60	8.13	9.00	10.00	10.88
	E	3.97	4.74	5.40	5.78	6.61	7.35	7.99
	ESE	3.53	4.21	4.80	5.14	6.00	6.67	7.25
	SE	3.22	3.93	4.48	4.80	5.66	6.29	6.84

Tabla 4: Valores de Hso para cada dirección y periodo de retorno. (Fuente: Elaboración propia)

Por otro lado, se tiene que determinar la vida útil de la obra que se va a ejecutar. La ROM 0.2-90 “Acciones de Proyecto de Obras Marítimas y portuarias” determina la vida útil mínima para cada obra e instalación de carácter definitivo en función del nivel de seguridad requerido.

Al tratarse de instalaciones para la regeneración de costas, el nivel de seguridad es NIVEL 1. Al ser este nivel y considerase de carácter general, la ROM 0.2-90 nos indica que la mínima vida útil tiene que ser de 25 años, tal y como se muestra en la siguiente tabla.

TABLA 2.2.1.1. VIDAS ÚTILES MÍNIMAS PARA OBRAS O INSTALACIONES DE CARÁCTER DEFINITIVO (en años)			
TIPO DE OBRA O INSTALACIÓN	NIVEL DE SEGURIDAD REQUERIDO		
	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
INFRAESTRUCTURA DE CARÁCTER GENERAL	25	50	100
DE CARÁCTER INDUSTRIAL ESPECÍFICO	15	25	50

Tabla 5: Vidas útiles mínimas en función del nivel de seguridad requerido. (Fuente: ROM 0.2-90)

Siendo:

- “**INFRAESTRUCTURA DE CARÁCTER GENERAL:** Obras de carácter general; no ligadas a la explotación de una instalación industrial o de un yacimiento concreto.” (ROM 0_2-90.pdf, s. f.)
- “**NIVEL 1:** Obras e instalaciones de interés local o auxiliares. Pequeño riesgo de pérdidas de vidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura. (Obras de defensa y regeneración de costas)” (ROM 0_2-90.pdf, s. f.)

Por otra parte, también se ha de considerar “riesgos máximos admisibles para la determinación, a partir de los datos estadísticos, de los valores característicos de cargas variables para fase de servicio y condiciones extremas” (ROM 0_2-90.pdf, s. f.). Es decir, que hay que considerar que para toda obra de regeneración la repercusión económica en caso de inutilización de la obra es media y la posibilidad de pérdidas humanas es reducida.

Con estas premisas y empleando la ROM 0.2-90 se obtiene el riesgo de iniciación de averías y el riesgo de destrucción total, tal y como se muestra en las siguientes tablas.

TABLA 3.2.3.1.2. RIESGOS MÁXIMOS ADMISIBLES PARA LA DETERMINACIÓN, A PARTIR DE DATOS ESTADÍSTICOS, DE VALORES CARACTERÍSTICOS DE CARGAS VARIABLES PARA FASE DE SERVICIO Y CONDICIONES EXTREMAS			
a) RIESGO DE INICIACIÓN DE AVERÍAS			
REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA. Índice $r = \frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
	BAJA	0,50	0,30
	MEDIA	0,30	0,20
	ALTA	0,25	0,15
b) RIESGO DE DESTRUCCIÓN TOTAL			
REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA. Índice $r = \frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
	BAJA	0,20	0,15
	MEDIA	0,15	0,10
	ALTA	0,10	0,05

Tabla 6: Riesgo de iniciación de averías y de destrucción total. (Fuente: ROM 0.2-90)

Por lo que en este caso el riesgo de iniciación de averías es $E=0.3$ y el riesgo de destrucción total es $r=0.15$.

A partir de estos parámetros se obtiene el periodo de retorno (T) que hay que considerar para la regeneración de playas.

$$E = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^L$$

Siendo:

- E = valor del riesgo
- T = Periodo de retorno (años)
- L = Vida útil mínima, 25 años

Por lo que para los parámetros obtenidos se tiene un periodo de retorno de 70.59 años, es decir, 70 años.

Con $T=70$ años se puede obtener el valor de Hsr mediante el gráfico 1. Por lo que aproximadamente el valor de Hsr = 7.5 metros.

Por lo que para un periodo de 70 años y Hsr=7.5 metros, se tiene:

Dir	Hso (m)
NE	8.62
ENE	9.38
ESE	6.89
SE	6.25
SE	5.90

Con todos estos datos se llega a la conclusión de que la altura de ola significativa en aguas profundas es de Hso = 9.38 metros, en la dirección ENE.

Una vez obtenido el valor de H_{so} se obtiene tanto el periodo como la longitud de la ola de cálculo. Para ello la ROM 0.3-91 establece para el área VII unas ecuaciones para obtener estos dos parámetros.

Del cuadro E para Valencia I se tiene:

$$Tp(s) = (4\sim 5) * \sqrt{H_s}$$

Obteniendo los valores:

$$T = 12.25 \text{ s} / T = 15.31 \text{ s}$$

Por lo que se toma un valor medio de $T = 13.78 \text{ s}$, con lo que se obtiene la siguiente longitud de onda:

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = 296 \text{ m}$$

Altura de ola en condiciones de rotura (H_b)

Normalmente la altura determinante para las obras costeras suele ser la mayor ola rompiente que llega a la actuación. Para aguas poco profundas la ola suele estar limitada por la relación entre altura de ola y longitud de onda, que se denomina peralte. Pero para obras de regeneración de costas se considera la máxima altura de ola que llega a la obra sin que se haya roto antes. Mediante la teoría de onda solitaria se obtiene que una ola rompe cuando llega a determinada profundidad, en función de su altura de ola.

$$\frac{H_b}{d_b} = 0.788$$

Siendo:

- H_b : Altura de ola en condiciones de rotura (Breaking)
- d_b : Profundidad de cálculo al pie de la estructura = $d_s + s$
- d_s : Profundidad real del pie de la estructura
- S : Sobreelevación

Esta condición suele coincidir con lo que se observa en la naturaleza, pero existen distintas gráficas en las que se pueden obtener el valor de la relación H_b/d_b en función de diferentes parámetros. En este caso se va a utilizar las Curvas de Weggel. Estas obtienen la relación H_b/d_b en función del periodo del oleaje y de la pendiente de la playa.

Como se obtuvo en el ANEJO 4: GEOLOGÍA, GEOTÉCNIA Y SEDIMENTACIÓN la pendiente de la playa es de 1.5 %, por lo que se tomará que delante de la estructura hay una pendiente aproximada del 2%. Y se considera que el periodo de la ola es de 13.78 s.

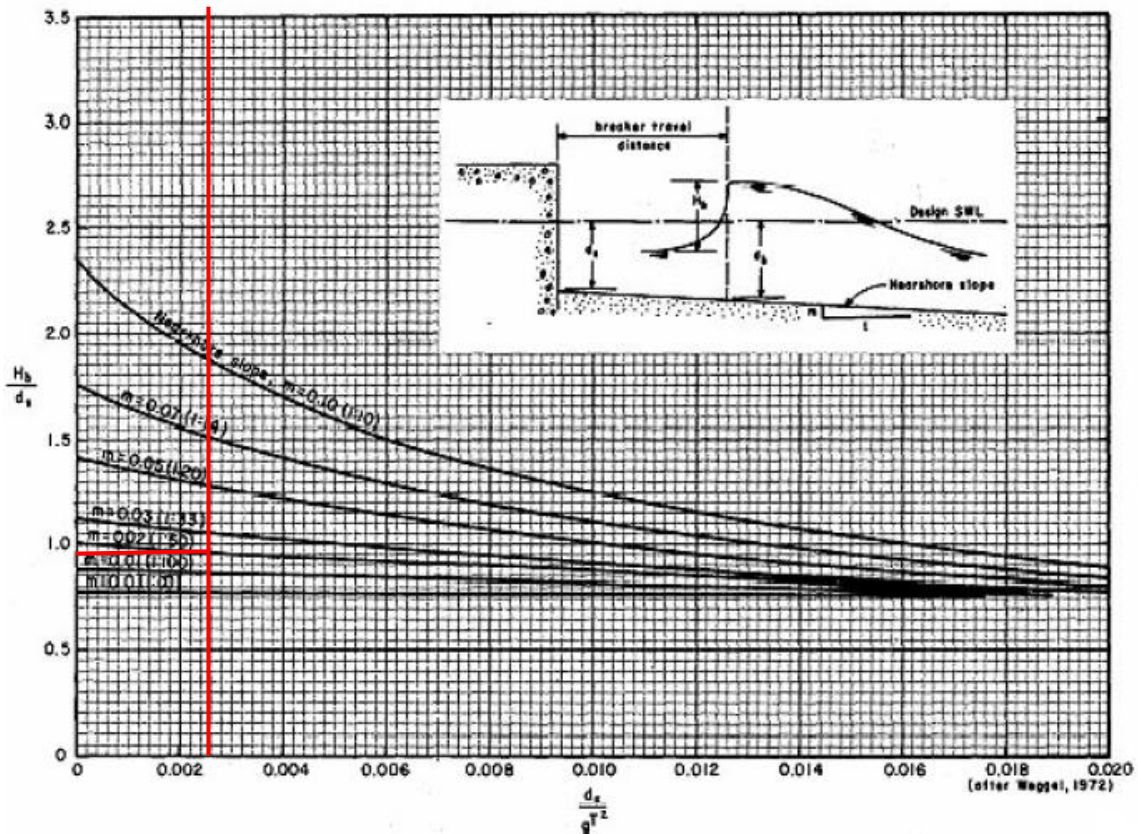


Figura 9: Curvas de Weggel. (Fuente: Oceanografía, Dinámica y Procesos Litorales)

Considerando que la profundidad de la estructura es de 4.5 metros, se considera que el dique arrecife está en la zona de profundidad reducida ($d < L/25$), las curvas Weggel indican la rompiente máxima que puede llegar a una obra a una profundidad definida, dependiendo de la profundidad relativa (d_s/gT^2) y la pendiente que se encuentra en el fondo.

Por lo que empleando el gráfico de las curvas de Weggel se tiene:

- Profundidad de la base de la estructura $d_s = 4.5$ m
- Periodo del oleaje $T = 13.78$ s
- Pendiente de la playa entorno al 1% - 2%

$$\frac{d_s}{gT^2} = \frac{4.5}{9.81 \times 13.78^2} = 0.00242 \approx 0.0025$$

Así que empleando las curvas de Weggel se obtiene una relación $H_b/d_s = 0.95$. Despejando la ecuación se tiene:

$$H_b = 0.95 \times 3.5 = 3.325 \text{ metros}$$

Aplicando la teoría de onda solitaria como se ha mencionado anteriormente se obtiene otro valor de H_b :

$$H_b = 0.8 \times (3.5 + 1) = 3.6 \text{ metros}$$

En la teoría de onda solitaria se ha tenido en cuenta la sobreelevación debido a los cambios que sufre el nivel del mar de ± 1.00 m.

Observando ambos resultados se escoge el valor más restrictivo, en este caso:

$$H_b = 3.6 \text{ metros}$$

Con este valor de H_b se sabe que todas las olas mayores a esta altura de ola romperán antes de llegar a las obras de regeneración.

Para poder finalizar el cálculo de la altura de ola que se empleará para el dimensionamiento, se ha empleado las recomendaciones del SPM (Shore Protection Manual).

El SPM recomienda tomar $H_{1/10}$ en el caso de obras con vidas útiles previsiblemente cortas, como es este caso de 70 años. Por lo que se tiene:

$$H_{1/10} = 1.27 \times H_{so} = 1.27 \times 9.38 = 11.91 \text{ m}$$

Como $H_b < H_{1/10}$ se tiene que la obra está en una situación de "Breaking", es decir, está en condiciones de rotura.

Debido a esta situación se selecciona como H_{cal} la altura de la ola en condiciones de rotura (H_b).

$$H_{cal} = H_b = 3.6 \text{ metros}$$

2. Geometría y material de la sección transversal

Para el diseño de la geometría de la sección transversal se va a suponer unos valores aproximados y se van a trabajar con ellos. Una vez prediseñada la sección transversal se hará las comprobaciones necesarias para determinar si su diseño es correcto o se hay que modificarlo.

Por ello se van a definir los siguientes parámetros:

- Situados a 4.5 metros de profundidad.
- Cota de coronación a -1 metro del NMM.
- Altura del dique 3.5 metros.
- Talud del dique 1:2.
- Dique multicapa.
- Ancho de coronación 13 metros

Con estos parámetros que se justificarán más adelante hay que definir la estructura y los distintos materiales del dique. En este caso en el predimensionamiento se definen tres capas:

- Manto principal de escollera
- Manto secundario, filtro.
- Núcleo formado por todo-uno de cantera.

Para el cálculo de los pesos de las diferentes capas se va a emplear la fórmula ofrecida por el SPM, que es la fórmula de Iribarren modificada por Hudson:

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{(S_r - 1)^3 k_d \cot \alpha}$$

Siendo:

W: Peso de la escollera del manto (Tn).

ρ_s : Peso específico de la escollera, de valor 2,7 Tn/m³.

H: Altura de ola a considerar.

Sr: Peso específico relativo del material respecto del agua= ρ_s / ρ_w

$\cot\alpha$ = Inclinación de los taludes.

Kd: Coeficiente de estabilidad.

En esta ecuación la altura de ola (H) está en función del nivel de daño (D) que es aceptable para la estructura. Para escollera rugosa se decide un nivel de daño D=20-30%. Por lo que la altura de ola que el SPM recomienda introducir en la ecuación está definido en la siguiente tabla.

Averías (%)	H/(H No averías)
0 - 5	1,00
5 - 10	1,08
10 - 15	1,19
15 - 20	1,27
20 - 30	1,37
30 - 40	1,47
40 - 50	1,56

Tabla 7: Averías (%) / Altura de cálculo sin averías. (Fuente: SPM Shore Protection Manual)

Por lo que en este caso se tiene:

$$H = 3.6/1.37 = 2.62 \text{ metros}$$

Para el coeficiente Kd se acude a la tabla del SPM en la que sugiere que los valores de Kd en condiciones de rotura o “breaking” sean de Kd = 3.2 (Valor intermedio entre 2 y 5.8) para el tronco y un Kd = 2.7 para el morro. Estos dos valores de Kd son aceptables para valores con taludes $\cot\alpha=2$, para mínimo 2 capas y ejecutado con rocas angulosas colocadas de forma aleatoria.

No-Damage Criteria and Minor Overtopping						
Armor Units	n	Placement	Structure Trunk		Structure Head	
			K _D ²		K _D	
			Breaking Wave	Nonbreaking Wave	Breaking Wave	Nonbreaking Wave
Quarystone	2	Random	1.2	2.4	1.1	1.9
Smooth rounded	>3	Random	1.6	3.2	1.4	2.3
Rough angular	1	Random	1.6	2.9	1.4	2.3
Rough angular	2	Random	2.0	4.0	1.8	3.2
Rough angular	>3	Random	2.2	4.5	2.2	4.2
Smooth rounded	2	Special	5.8	7.0	5.3	6.4
Parallelepiped	2	Special	7.0 - 20.0	8.5 - 26.0	—	—
Tetrapod and Quadripod	2	Random	7.0	8.0	5.0	6.0
Trihar	2	Random	8.0	10.0	7.8	9.0
Dolos	2	Random	15.8 ⁸	31.8 ⁸	8.0	16.0
Modified cube	2	Random	6.5	7.5	—	6.0
Hexapod	2	Random	8.0	9.5	8.0	7.0
Toshane	2	Random	21.0	22.0	—	—
Trihar	1	Uniform	12.0	15.0	7.5	9.5
Quarystone (K _{RS})	—	Random	2.2	2.5	—	—
Graded angular	—	Random	2.2	2.5	—	—

Tabla 8: Valores coeficiente Kd. (Fuente: SPM Shore Protection Manual)

Una vez conocido los materiales que se van a emplear, el peso de cada material y la estructura del dique hay que conocer el espesor de cada una de las capas.

Para obtener el espesor del manto principal que está formado por escollera se ha de obtener el tamaño equivalente de los elementos de la capa, para ello se emplea:

$$l = \sqrt[3]{Volumen} = \sqrt[3]{\frac{w}{\rho s}}$$

Una vez obtenido la longitud equivalente se obtiene el espesor de la capa con sabiendo el número de capas por las que está formado el manto y el coeficiente de capa.

$$e = l \times n \times k\Delta$$

Siendo:

- n = Número de capas en el manto
- kΔ = Coeficiente de capa. El valor es 1 por ser roca angulosa colocada de forma aleatoria

Con todo esto se obtiene los pesos y espesores del manto principal y secundario.

Manto principal de escollera:

Aplicando la formulación y la metodología descrita se obtiene:

Manto Principal	kd	Cot α	H (m)	ρ_s (Tn/m ³)	ρ_w (Tn/m ³)	Sr (Tn/m ³)	W (Tn)
Cuerpo	3.2	2	2.62	2.7	1.029	2.624	1.77
Morro	2.7	2	2.62	2.7	1.029	2.624	2.10

Tabla 9: Pesos del Manto Principal del dique. (Fuente: Elaboración propia)

Se obtiene un total de 1.77 Tn para el cuerpo del dique y 2.10 Tn para el morro. Del lado de la seguridad se va a tomar como valor $W=2.10$ Tn en ambos tramos. Esto es debido a que en los temporales los bloques con un peso inferior a 2 Tn pueden ser vulnerables.

Por lo tanto, el peso de los bloques para cuerpo y morro es:

$$W = 2.10 \text{ Tn}$$

Con este valor y con las fórmulas anteriores se obtiene el espesor del manto principal:

Manto Principal	n	k Δ	W (Tn)	ρ_s (Tn/m ³)	l (m)	e (m)
Cuerpo	2	1	2.1	2.7	0.92	1.84
Morro	2	1	2.1	2.7	0.92	1.84

Tabla 10: Espesor del Manto Principal del dique. (Fuente: Elaboración propia)

Por lo que se tiene un espesor del manto principal de:

$$e = 1.84 \text{ m}$$

Manto secundario, capa de filtro:

Para el dimensionamiento del manto secundario se puede utilizar la misma formulación que se ha empleado con el manto principal o se puede seguir las recomendaciones del SPM. Estas recomendaciones indican que para secciones de dique multicapa en condiciones de "breaking", situado en aguas poco profundas, se sigue esta sección:

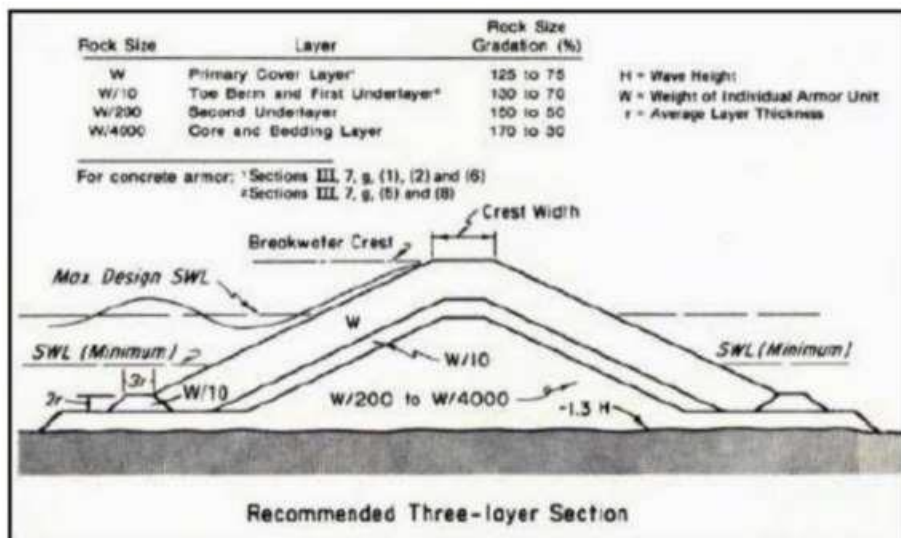


Figura 10: Recomendaciones de un dique escollera. (Fuente: SPM Shore Protection Manual)

El manto secundario hará la función de capa de filtro, por lo que evitará que el material del núcleo se pierda debido a la acción del oleaje. Siguiendo las recomendaciones del SPM el peso de las piezas de esta capa tiene que ser de $W/10$ y el espesor se calcula con la misma metodología que el manto principal, pero teniendo 1 única capa $n=1$.

Por lo tanto, el manto secundario queda definido como:

$$W = 0.21 T_n = 210 \text{ kg}$$

$$e = 0.43 \text{ m}$$

Manto Secundario	n	kΔ	W (Tn)	ρs (Tn/m3)	l (m)	e (m)
Cuerpo	1	1	0.21	2.7	0.43	0.43
Morro	1	1	0.21	2.7	0.43	0.43

Tabla 11: Espesor del Manto Secundario del dique. (Fuente: Elaboración propia)

Núcleo interior:

Una vez diseñado el manto y la capa de filtro se dimensiona el núcleo interior. Su función es principalmente evitar en la transmisión de la energía del oleaje. Esta capa está formada por todo-uno de cantera y debido a su baja porosidad puede cumplir su función. Según las recomendaciones del SPM el todo-uno de cantera estará limitado por $W/200$ y $W/4000$.

Por lo que el núcleo interior está compuesto por todo-uno de peso:

$$W = \left[\frac{2100}{4000}, \frac{2100}{200} \right] \approx [1, 11] \text{ kg}$$

Como resumen se tiene que las distintas capas están formadas por:

Capa		Peso (W)	Espesor (m)
Manto Principal	Cuerpo	2.1 Tn	1.84
	Morro	2.1 Tn	1.84
Manto Secundario	Cuerpo	210 kg	0.43
	Morro	210 kg	0.43
Núcleo central		1-11 kg	

Tabla 12: Resumen pesos y espesores de las capas del dique. (Fuente: Elaboración propia)

Conforme el SPM estas capas pueden variar a lo largo de un intervalo, tal y como se muestra en la siguiente tabla.

Capa		Variación	Peso mínimo	Peso máximo
Manto Principal	Cuerpo	75%-125%	1.6 Tn	2.63 Tn
	Morro	75%-125%	1.6 Tn	2.63 Tn
Manto Secundario	Cuerpo	70%-130%	147 kg	273 kg
	Morro	70%-130%	148 kg	274 kg
Núcleo central		30%-170%	1 kg	18 kg

Tabla 13: Intervalo de pesos en las capas del dique. (Fuente: Elaboración propia)

Una vez definido los pesos y los espesores hay que comprobar si el ancho de coronación propuesto cumple con los anchos mínimos establecidos por el SPM. Los anchos mínimos que se emplean en el manual son:

$$B \geq n \times k \Delta \times \sqrt[2]{\frac{w}{\rho s}}$$

Cada uno de los parámetros han sido definido con anterioridad.

El resultado para el ancho de coronación del dique es:

$$B_{min} = 1.76m$$

Por lo que se toma $B = 13 > 1.76 m$

Tomar una anchura mucho mayor que la mínima parece un error desde el punto de vista económico. Pero desde el punto de vista de ejecución del dique arrecife es más que justificable.

El dique exento debe tener una plataforma de trabajo que no esté sumergida, por lo que en fase de ejecución la cota de coronación va a ser superior al NMM, unos 0.5m por encima del NMM. Por lo que en esta fase el ancho de la coronación tiene que ser tal que pueda permitir la circulación y el funcionamiento de la maquinaria necesaria. Una vez acabado la fase de ejecución el dique se “rebaja” hasta la cota diseñada.

Por lo que suponiendo una anchura de coronación de 5.5 metros en la fase de ejecución, suficiente como para que pueda trabajar la maquinaria correspondiente, se queda tras la retirada del material una anchura final de 13 metros.

Bermas de refuerzo.

Por último, se estudia la necesidad de una berma de refuerzo en la estructura.

“El oleaje actuante puede llegar a provocar erosiones en el fondo y en la propia cimentación de las estructuras, por lo que ésta deberá protegerse a fin de evitar fallos en el pie o asentamientos excesivos. El fondo marino, en los lugares de asentamiento de los diques, sí está compuesto por arena se necesita, entonces, colocar una base que funcione como filtro. Así se evitará que los granos se desplacen a través de los huecos, provocando erosiones y movimientos de los bloques de escollera que forman el cuerpo.” (VolumenIII.ActuacionesCosteras.pdf, s. f.)

Por lo que para evitar dichos problemas se proyectan unas bermas a los lados del dique. Estas bermas tendrán una anchura de 1.5 metros y una altura de 0.5 metros. Envolverá todo el dique, incluyendo el morro y el cuerpo y estarán compuestos por el mismo material que el manto secundario.

Estas bermas son elementos difíciles de ejecutar y es una solución más costosa.

3. Distribución en planta de los diques

La principal consideración para el diseño de un dique exento sumergido es la forma que se quiere que adopte la playa. En este caso lo que se busca es la generación de hemitómbolos para conseguir una anchura mínima de aproximadamente 75 metros, aunque posteriormente se determinará el valor exacto de este ancho.

Para poder definir la distribución en planta de forma adecuada se ha de determinar los siguientes parámetros:

- Orientación del dique respecto a la orilla

- Distancia de la línea de costa y calado del dique
- Número de diques, longitud y separación entre ellos

Y una vez definidos los parámetros se calculará el hemitómbolo generado.

Orientación del dique respecto a la orilla.

Es recomendable que la orientación de los diques exentos sea perpendicular al oleaje, pero en la práctica se suele orientar paralelo a la costa. Ya que si se orienta perpendicular al oleaje se formaría un ángulo con la línea de costa, por lo que no es la mejor opción para una playa como la de Les Deveses.

Distancia de la línea de costa y calado del dique.

Para poder determinar la separación del dique a la línea de costa se considera que la playa ya está regenerada, es decir, ya tiene la anchura de la playa seca de aproximadamente 75 metros.

A partir de este supuesto se considera que la distancia a la línea de costa tiene que estar en torno a 270-300 metros por diversos motivos.

En primer lugar, los diques exentos tienen que estar a una distancia determinada para que no afecte a la costa la sobreelevación que se produce por el paso de las olas a la altura del dique. Por lo que el balance hidráulico generado por las “rip currents” tiene que ser despreciable.

En segundo lugar, tienen que estar a cierta distancia por el impacto sociológico. En este caso al ser un dique arrecife no se tiene dicho impacto, ya que existe un horizonte despejado y no afecta a las actividades de la playa.

Teniendo en cuenta esta distancia a la línea de costa hay que considerar la profundidad para la base de los diques. Estos se van a situar a una profundidad aproximada de 4.5 metros, por lo que analizando la batimetría de la zona se tiene que van a estar aproximadamente a unos 330 metros de la línea de la playa.



Figura 11: Distancia aproximada de los diques exento. (Fuente: Elaboración propia)

En la anterior ilustración se muestran distancias de aproximadamente 330 metros, pero esto es sin haber regenerado la playa, por lo que se considera que la distancia media con la playa regenerada será de aproximadamente 290 metros.

Número de diques, longitud y separación entre ellos

La longitud de los diques exentos y la separación con la línea de costa son variables fundamentales para la generación de tómbolos o hemitómbolos. Como recomienda SPM se puede prevenir la creación de un tómbolo haciendo que la longitud del dique sea menor a la distancia del dique con la línea de costa. Por lo que ya se tiene que $L < 290$ metros.

Teniendo un tramo de estudio de aproximadamente de 2000 metros, se van a colocar un total de dos espigones de una longitud de 180 metros y una separación entre ellos de 850 metros.

Cálculo del hemitómbolo

Debido a la gran separación entre la pareja de diques exentos se va a calcular el hemitómbolo como si se tratase de diques exentos aislados.

Para dicho cálculo se va a emplear la metodología de Hsu-Silvester con los parámetros definidos anteriormente.

- Ancho de playa deseado (A) = 40 metros = Deseado - Existente
- Distancia entre dique y línea de costa (S1) = 290 metros
- Longitud del dique (B) = 180 metros

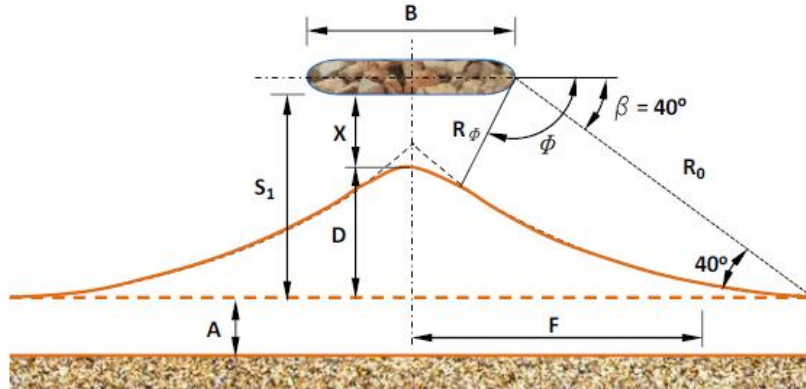


Figura 11: Parámetros de diseño de un dique exento. (Fuente: Volumen III)

Siendo:

$$\frac{F}{B} = \frac{1}{2} + \sqrt{\left(\frac{R_0}{B}\right)^2 + \left(\frac{S_1}{B}\right)^2}$$

$$\frac{R_0}{B} = 0,1737 + 1,6833 \frac{S}{B}$$

$$\frac{S}{B} = 0,9242 \frac{S_1}{B} - 0,1082$$

$$\frac{R_0}{B} = 0,1737 + 1,5557 \frac{S_1}{B} - 0,1821 \approx 1,5557 \frac{S_1}{B}$$

Se obtiene:

$$\frac{F}{B} = \frac{1}{2} + 1,1917 \frac{S_1}{B}$$

$$\frac{X}{B} = 0,6784 \left(\frac{S}{B} \right)^{1,2148}$$

$$S_1 = X + D$$

Por lo que con los datos expuestos con anterioridad se tiene:

- F = 430 metros, que es la semilongitud del hemitóbolo.
- Ro = 451.153 metros, longitud entre los extremos de los salientes que delimitan la playa.
- S = 248.542 metros, distancia del dique exento a la línea de costa original.
- X = 180.71 metros, distancia entre el dique y el hemitóbolo.

Por lo tanto, la longitud del tóbolo será de 109.29 metros (D).

Regeneración dunar.

Las dunas son ecosistemas únicos con un alto valor ecológico situadas en la transición del medio marino y continental. Estos ecosistemas desempeñan diferentes papeles como la defensa natural del territorio frente a sobrelevaciones del nivel medio del mar o frente a temporales; reserva de material de la playa, hábitat de fauna y flora y depuradora y barrera de aguas continentales.

Por todo esto es de vital importancia regenerar el sistema dunar a lo largo de todo el tramo de estudio. Para poder regenerarlo hay que especificar unos parámetros de diseño.

Para establecer estos parámetros se ha recurrido al Proyecto de Recuperación de la Playa de Les Deveses, donde se muestra el análisis realizado para determinar la localización y la configuración en planta.

Como se indica en el proyecto: *“La ubicación en planta de los cordones dunares propuestos se ha llevado a cabo considerando, la distribución y grado de desarrollo que presentan los sistemas existentes en el tramo, las anchuras de las playas una vez llevada a cabo su regeneración (solución propuesta para la regeneración de la playa), y la presencia de edificaciones y paseos marítimos.”* (Proyecto Les Deveses.pdf, s. f.)

La anchura mínima de los cordones dunares se ha fijado en 8 metros y la máxima varía en función del estado de cada tramo.

Las longitudes oscilan desde 25 metros hasta 200 metros, ya que dependen de la tipología de cada tramo y el máximo viene definido por la Servidumbre de acceso al mar de la Ley 22/1988.

Estos 200 metros se establecen para crear accesos a la playa mediante pasarelas longitudinales de 2 metros de ancho. Esto es debido a que una de las causas principales de la erosión de la duna es la pisotear de forma constante e indiscriminada la vegetación de la duna, por esa razón se decide fragmentar el sistema dunar.

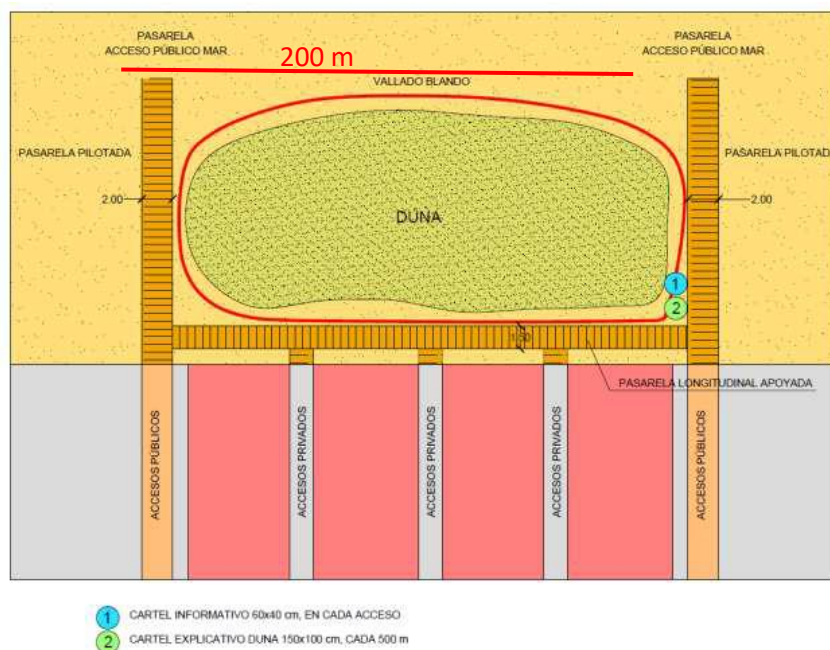


Figura 12: Esquema de configuración de la duna. (Fuente: Proyecto de Les Deveses)

Para el acceso rodado a las playas se generarán accesos cada 500 metros a través de las dunas, al igual que se hace con las pasarelas longitudinales.

Por lo que finalmente se propone: “La creación de nuevos cordones dunares en aquellas zonas en las que ha desaparecido en la actualidad que eleven la cota de la playa para asegurar el resguardo frente a las sobreelevaciones del nivel del mar y las inundaciones por eventos de temporal, cota de coronación igual a 2,6 metros, y anchuras de entre 14 y 38 m; además en las zonas de dunas todavía visibles como formaciones aisladas se actúa regenerando las mismas para constituir verdaderos cordones dunares con cota de coronación igual a 4 metros, y anchuras de entre 8 y 26,50 m, respetando en todos los casos la accesibilidad al mar cada 200 m impuesta por la Ley de Costas.”(Proyecto Les Deveses.pdf, s. f.)

El proyecto indica las obras que se van a realizar y las especies vegetales que se van a plantar.

Obras para realizar:

- “Eliminación de especies invasoras en la zona dunar.
- Aportación de arena para la regeneración de dunas existentes y/o creación de nuevas dunas, para conseguir los anchos especificados y la cota de coronación de duna necesaria.

- Colocación de captadores de apoyo de mimbre en el frente dunar para proteger las plantaciones de la acción del viento y favorecer el depósito de arena formando la duna primaria.
- Plantación de planta dunar tras las pantallas de mimbre para estabilizar la arena de las dunas.
- Instalación de vallado “blando” (postes de madera y cuerda) para proteger las dunas.
- Instalación de pasarelas pilotadas de madera, de 2 metros de ancho en zonas de acceso al mar (accesos públicos).
- Instalación de pasarela apoyada, de 1,5 metros de ancho, para canalizar los accesos privados, evitando el “pisoteo” de las dunas.
- Colocación de carteles informativos y explicativos en las zonas dunares regeneradas.” (Proyecto Les Deveses.pdf, s. f.)

Las especies para plantar son:

Nombre científico	Nombre común	Disposición en duna
<i>Ammophila arenaria</i>	Barrón	Primera línea (2 uds/m ²)
<i>Elymus farctus</i>	Gramínea marina	Primera línea (3 uds/m ²)
<i>Eryngium maritimum</i>	Cardo marino	Primera línea (1 ud/m ²)
<i>Lotus creticus</i>	Cuemeclillo marino	Segunda línea (2 uds/m ²)
<i>Medicago marian</i>	Mielga marina	Segunda línea (3 uds/m ²)

Tabla 14: Especies vegetales dunares. (Fuente: Proyecto de Les Deveses)

Alimentación artificial.

Para que la actuación de los diques arrecife sea eficaz, es necesario complementarla con aportación de arenas en las zonas más críticas del tramo de estudio.

Zonificación de la playa

Para poder definir la anchura mínima de la playa seca se va a emplear el concepto de zonificación de la playa. La Dirección General de Puertos y Costas 1984 divide la playa seca en tres zonas:

- **Zona ACTIVA o de inmersión:** “Es la zona más próxima a la orilla y que debe de quedar libre, sin ocupación, se le asigna una anchura de diez metros (10 m) en playas en mar sin mareas, la condición de considerarla libre es para facilitar la inmersión en el agua y el libre tránsito de las personas que acceden al baño o el simple hecho de pasear a lo largo de la orilla. En mares con marea esta zona viene limitada por la pleamar y la bajamar, por tanto, no tiene una anchura prefijada.” (Volumen III. Actuaciones Costeras.pdf, s. f.)
- **Zona de REPOSO o inactiva:** “Franja de playa inmediata a la anterior, en la que es posible colocar sombrillas, hamacas, toldos y otros elementos portátiles, particulares o de uso público, con destino a facilitar y hacer cómoda la permanencia en la playa, el descanso y disfrute del usuario. En playas sin marea se considera que la anchura optima es de veinticinco metros (25 m), ya que anchuras mayores hacen la estancia molesta por el calentamiento de la arena. En playas con marea la limitación de esta zona viene marcada por los posibles grandes recorridos para desplazarse para el baño, se recomienda que

como máximo la anchura sea de cien metros (100 m), en el caso de mares con marea.”(VolumenIII.ActuacionesCosteras.pdf, s. f.)

- **Zona de SERVICIOS:** “se completa la playa seca con una franja que se limita en el Dominio Público Marítimo-Terrestre (DPMT), estaría destinada a la ubicación de juegos de playa, y kioscos de temporada.”(VolumenIII.ActuacionesCosteras.pdf, s. f.)



Figura 13: Zonificación de la playa en mares sin mareas. (Fuente: Volumen III)

Como se puede apreciar en la figura anterior, existe una zona no definida que se denomina “Margen de resguardo”. Esta zona sin definir pretende representar la oscilación natural de la playa debido a temporales, estimándolo en 10 metros.

Con la zonificación anterior se obtiene que el ancho mínimo de la playa seca será de unos 45 metros (10+25+10) para las playas en mares sin mareas. Pero estos 45 metros se emplean en playas que conservan su forma natural, es decir, que se componen de playa seca y de escarpe natural dunar, ya que en estas condiciones la playa puede estar segura frente a temporales.

En playas en la que el escarpe no sea natural (acantilado, paseo marítimo, viviendas...) la anchura mínima será de 55 metros.



Figura 14: Anchura mínima de playa. (Fuente: Volumen III)

En la playa de Les Deveses existen las dos tipologías, aunque predominan las zonas con escarpe no natural.

Como en la alternativa se va a regenerar también el sistema dunar, el ancho mínimo final será de 45 metros, aunque realmente el ancho de playa que hay que regenerar es mayor (Playa seca + Escarpe), por lo que se considera un ancho total de 75 metros, ya que la anchura de las dunas regeneradas será desde 20 metros hasta 40 metros, por lo que selecciona una anchura media de 30 metros.

Perfil de la playa

El perfil de la playa que se desea obtener con la alimentación artificial es un perfil de equilibrio.

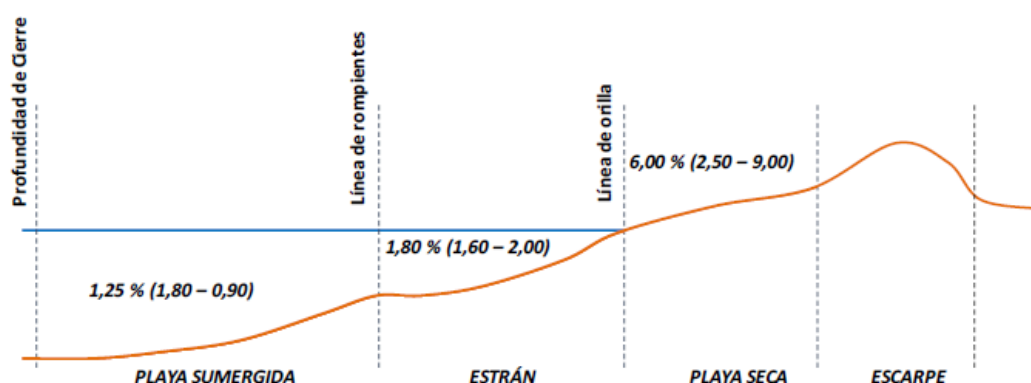


Figura 15: Perfil de equilibrio. (Fuente: Volumen III)

Hay que destacar que la anchura definida anteriormente no es la anchura inicial tras el vertido, sino que será la anchura que alcanza la playa seca en el perfil de equilibrio.

A lo largo de la playa habrá tramos que tendrán más anchura que el ancho definido, debido a que ya existe playa seca consolidada. Este exceso se distribuirá a lo largo del tramo o en las zonas más críticas.

Profundidad de cierre

Como se definió en el ANEJO 05: DINÁMICA LITORAL la profundidad de cierre es el límite donde dejar de haber transporte de sedimentos en sentido y transversal y longitudinal.

En dicho anejo se determinó que la profundidad de cierre es de $d1 = -5$ metros.

Características del material

La naturaleza del material de aportación es un factor de vital importancia ya que tiene que ser lo más parecido al material que existe en la playa. Si la granulometría del material de aportación no es igual o similar a la playa de Les Deveses, puede haber diversas consecuencias:

- Granulometría del material aportado < granulometría de la playa → Disminuye la pendiente.
- Granulometría del material aportado > granulometría de la playa → Aumenta la pendiente.

Esto es debido a que los tamaños más pequeños suelen colocarse a lo largo de la playa sumergida, mientras que los tamaños más grandes suelen acabar en la playa seca o sus inmediaciones.

Por lo que, analizando la granulometría de la playa, tal y como se muestra en el ANEJO 04: GEOLOGÍA, GEOTÉCNIA Y SEDIMENTOLOGÍA, en la playa predomina sedimentos tipo arenas finas con D_{50} de entre 0.15 y 0.21 mm, teniendo una granulometría bastante homogénea a lo largo de todo el tramo de costa.

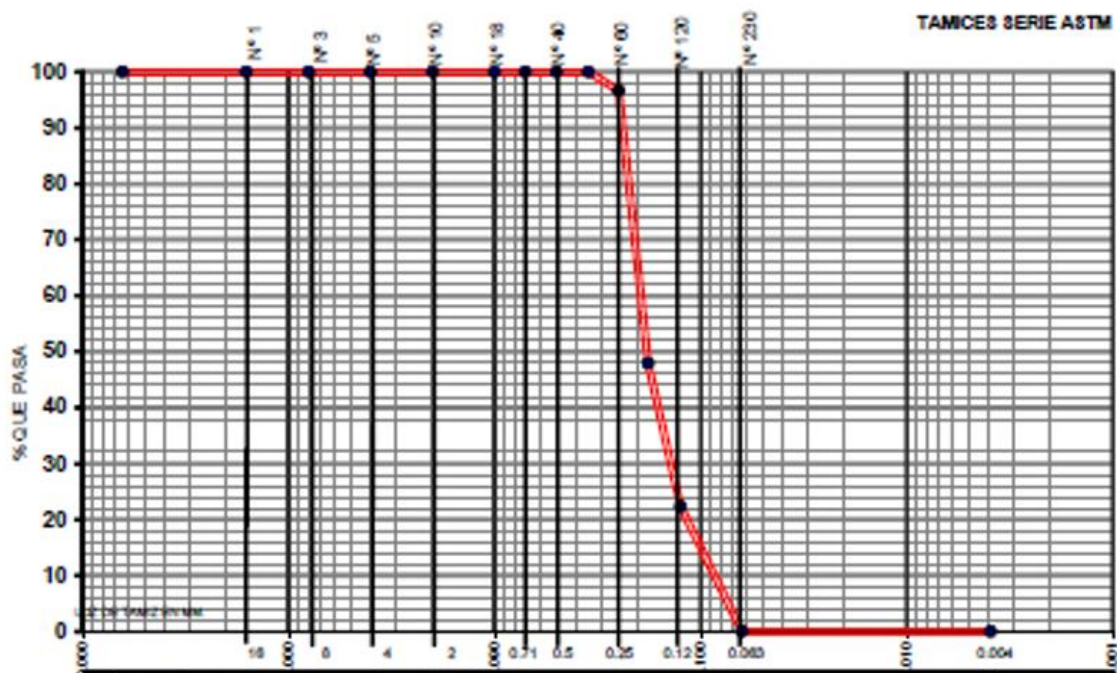


Figura 16: Informe del análisis granulométrico. (Fuente: Estudio Ecocartográfico)

El material de aportación por lo tanto debe tener una curva granulométrica similar y un D_{50} de entre 0.15 y 0.21 mm.

Volumen de aportación de la playa seca

Una vez conocido el perfil que se quiere implantar, que es el perfil de equilibrio, se calcula el volumen de los áridos necesarios para llevar a cabo ese perfil. Para ello se van a definir diferentes perfiles situados a lo largo del tramo de estudio y se va a aplicar la siguiente ecuación.

$$V = \frac{A_n + A_{n+1}}{2} \times d$$

Siendo:

- V = Volumen teórico entre perfiles (m³)
- $A_n + A_{n+1}$ = Áreas de perfiles consecutivos (m²)
- d = Distancia entre perfiles consecutivos (m)

Con ello se calculará el volumen de arena necesario para tener una playa de 75 metros de ancho. Para ello se ha empleado la profundidad de cierre $d_1=5m$ y se ha multiplicado por la anchura de la playa que es de 45 metros.

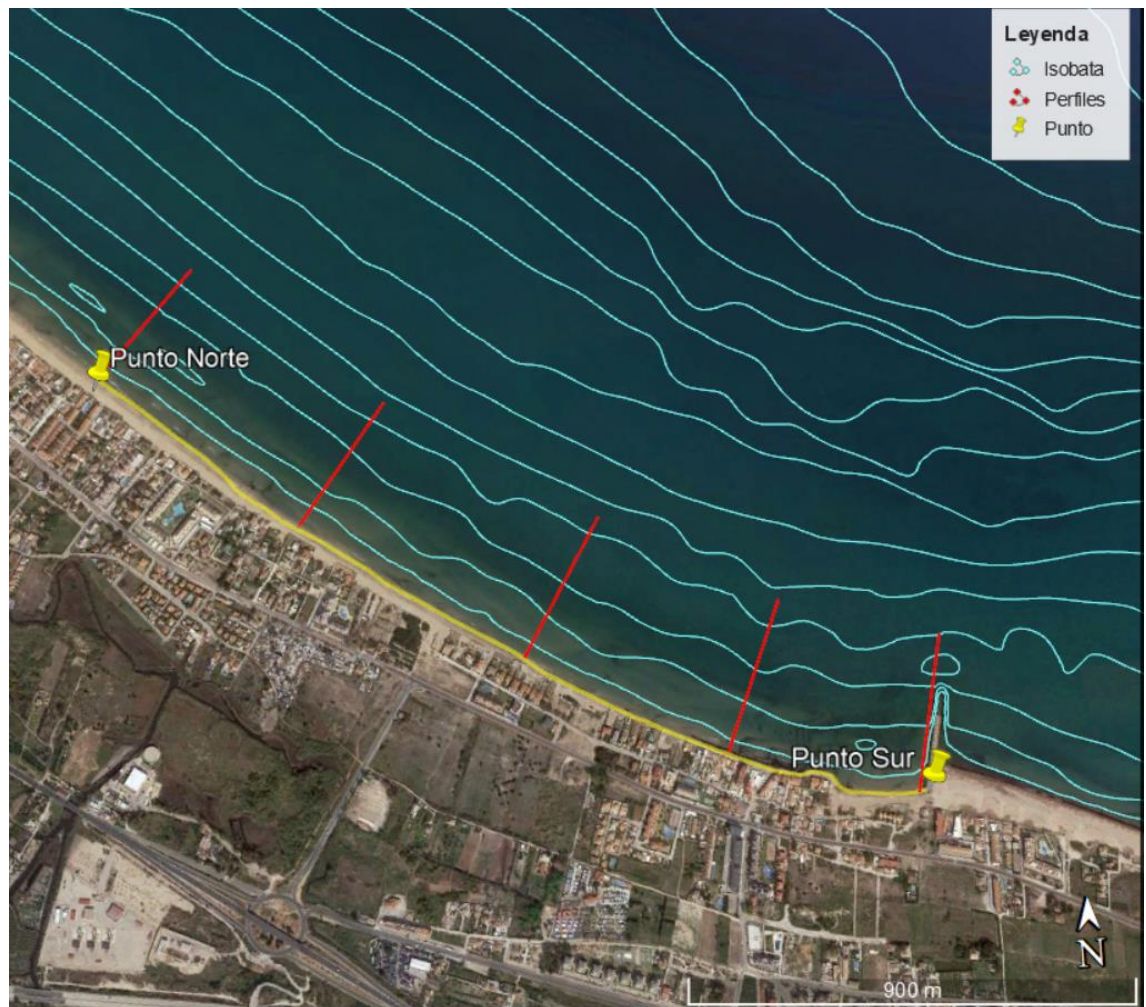


Figura 17: División del tramo en perfiles. (Fuente: Elaboración propia)

Aplicando la anterior ecuación se tiene:

TRAMOS	DISTANCIA (m)	VOLUMEN (m3)
Punto Norte - P1	552.41	124292.25
P1-P2	554.69	124805.25
P2-P3	462.73	104114.25
P3- Punto Sur	391.83	88161.75
VOLUMEN TOTAL		441373.50

Tabla 15: Volumen aproximado de la alimentación artificial. (Fuente: Elaboración propia)

Volumen de aportación del sistema dunar

Como se ha mencionado en la parte de la regeneración dunar, los datos obtenidos se han sacado del Proyecto de Les Deveses. Por lo tanto, el volumen de aportación necesario para el sistema dunar es:

PROPUESTA DE ACTUACIÓN PARA LA RESTAURACIÓN DUNAR EN LA PLAYA DE LES DEVESES, T.M. DE DÈNIA (ALICANTE)										
ÁREAS	TIPO DE ACTUACIÓN	COTA MEDIA PLAYA/DUNA EXISTENTE (m)	COTA TRASDÓS (m)	MÁXIMA COTA DUNAS/TERRENO (m)	COTA DISEÑO DUNAS (m)	COTAS REGENERACIÓN (m)	LONGITUD (m)	ANCHURA (m)	SUPERFICIE (m²)	VOLUMEN MATERIAL REGENERACIÓN (m³)
59	R	2.18	2.00	4.73	4.00	1.82	77.00	29.00	2,360.00	1,426
60	R	2.18	2.00	4.73	4.00	1.82	97.00	30.00	2,843.00	1,725
61	R	2.18	2.00	4.73	4.00	1.82	251.00	29.00	6,083.40	3,691
62	R	2.18	2.00	4.73	4.00	1.82	107.00	20.00	2,111.00	1,281
63	R	2.18	2.00	4.73	4.00	1.82	86.00	25.00	2,177.00	1,321
64	N	1.40	2.50	3.46	2.60	1.20	164.00	26.50	4,240.00	1,696
65	N	1.40	2.50	3.46	2.60	1.20	73.00	19.50	1,552.00	621
66	N	1.40	2.50	3.46	2.60	1.20	64.00	19.00	1,278.00	511
67	N	1.40	2.50	3.46	2.60	1.20	61.00	20.00	1,307.00	523
68	R	3.00	2.30	4.88	4.00	1.00	137.00	24.00	3,185.00	1,062
69	N	0.72	1.30	2.00	2.60	1.88	117.00	15.00	1,834.00	1,149
70	N	0.72	1.30	2.00	2.60	1.88	157.00	10.00	1,669.00	1,046
71	N	0.72	1.30	2.00	2.60	1.88	101.00	23.00	2,228.00	1,396
72	N	0.72	1.30	2.00	2.60	1.88	121.00	13.00	1,606.00	1,006
73	N	0.72	1.30	2.00	2.60	1.88	225.00	8.00	1,965.00	1,231
75	R	2.00	3.00	3.15	4.00	2.00	149.00	38.00	4,678.60	3,119

R: Zonas propuestas de regeneración dunar.
N: Zonas propuestas para la nueva creación de cordones dunares

Tabla 16: Volumen de aportación para el sistema dunar. (Fuente: Proyecto de Les Deveses)

Por lo que el volumen total de aportación es:

$$V = \sum V_{\text{regeneración}} = 22804 \text{ m}^3$$

Por lo que el volumen final de alimentación artificial es de:

$$V_{\text{tot}} = 22804 + 441373.50 = 464177.5 \text{ m}^3$$

Como la granulometría del material de aportación no es idéntica a la del material de la playa, se tendrá que adoptar un factor de sobrealimentación para compensar las pérdidas debido a diferentes granulometrías. Dicho factor de sobrealimentación es de 2.

$$V_{\text{tot}} = 2 * 464177.5 = 928.355 \text{ m}^3$$

7.3 Procedencia de materiales.

Para la procedencia de materiales se sabe que se necesita arena para regeneración de la playa y escolleras para la construcción de espigones.

Prestamos de arenas

La arena que se empleará para la regeneración costera será extraída tal y como se indica en la “Resolución de 20 de septiembre de 2013, de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente”. En esta resolución se permite la extracción de arenas en aguas profundas, para la regeneración y alimentación de las playas de Valencia, del yacimiento situado entre Valencia y Cullera.

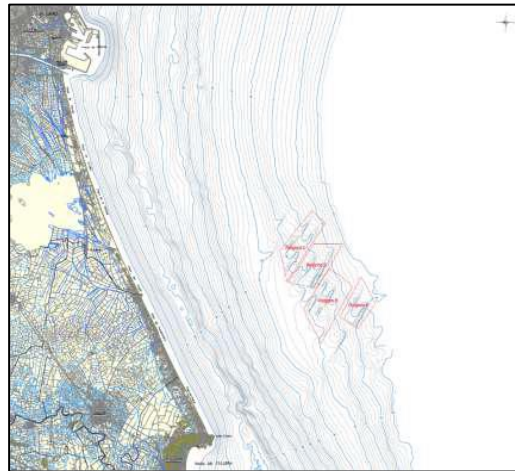


Figura 18: Localización yacimiento de materiales. (Fuente: Proyecto de Les Deveses)

Dicho yacimiento está situado a una profundidad de entre 60 y 80 metros de profundidad a lo largo de 26 km². La arena de este yacimiento tiene un D50 = 0.30 mm, por lo que al volumen calculado habrá que aplicarle un factor de sobrealimentación.

Para la obtención del material se empleará dragas de succión de dimensiones adecuadas para el volumen que se necesita extraer. La draga extraerá el material y lo almacenará en su interior para su posterior descarga.

Dicha descarga se llevará acabo desplazando la draga hasta los diferentes puntos de vertido. La draga pondrá el material en suspensión y lo trasladará mediante una bomba a tierra para realizar la regeneración de la playa.

Para la descarga a tierra se podrá realizar vertiendo el material por tubería como por extracción por chorro.



Figura 19: Formas de vertido del material dragado. (Fuente: Volumen III)

Escollera para los espigones

Para poder realizar los espigones hay que aportar escollera de préstamo desde canteras relativamente cercanas, que estén en explotación y estén legalmente autorizadas.

Como se necesitan piezas de diferente tamaño y también se precisa de todo-uno de cantera, se ha hecho un barrido de las canteras cercanas que cumplen con todos los requisitos y tienen los diferentes materiales y se ha proporcionado el siguiente listado.

CÓDIGO	CANTERA / GRAVERA	LOCALIZACIÓN	TÉLEFONO / FAX
C-1	GRAVERA QUINTANES	Pda. Quintanes s/n 03500 Altea	96 594 14 12 96 594 06 50
C-2	ARENAS FORNA S.L.	Ctra. Forna s/n 03739 Adsubia	96 640 05 14 96 640 20 20
C-3	HOLCIM ÁRIDOS S.L.	Ctra. Busot km 4500 03111 Busot	96 598 94 61
C-4	ÁRIDOS MUXARA S.L.	Ctra. Muxara s/n 03530 La Nucia	96 587 08 23 96 689 51 17
C-5	ÁRIDOS PRIETO S.L.	Pigro Uno (Pda Daimés) 03254 Daimés	96 545 83 57
C-6	ÁRIDOS SABATER S.L.	Pta. Moraleja, 254 Ctra. Catala 03099 Verdugas	96 566 78 71
C-7	CANTERA SAN ISIDRO S.A.	Pje. de Iglesia de los Moros s/n 03360 Cox	96 536 02 50 96 536 08 71
C-8	EUGENIO BOTELLA S.L.	Azorin, 10 03820 Cocentaina	96 558 02 11
C-9	TRANSAMAR DEL SURESTE S.L.	Avda. Monge y Bielsa s/n 03180 Torrevieja	96 571 08 79
C-10	TRANSPORTES Y ARIDOS ALFONSO S.L.	Sexta Elevación s/n 03330 Crevillente	96 540 04 07
C-11	ARENAS DEL VALLE S.L.	Partida El Pla. Apdo 62 03410 Biñar	96 597 92 77 96 597 92 85
C-12	ÁRIDOS COSTA SUR S.L.	Ctra. Barrio San Carlos, Pje. Magdalena s/n 03370 Redován	96 675 52 72
C-13	LORENZO ANDRÉS VALLES S.A.	C/Altea nº5 03725 Teulada	96 574 06 86

CÓDIGO	CANTERA / GRAVERA	LOCALIZACIÓN	TÉLEFONO / FAX
C-14	SEBASTIAN NAVARRO NAVARRO	Ctra. de Catí, km 2,3 03610 Petrel	96 537 47 62
C-15	CANTERA FEMENIA S.L.	Ctra. N-332 km 183 03725 Teulada	96 287 12 52 96 285 07 40
C-16	ÁRIDOS CASAL FELIU	Ctra. Oliva Forna km 9 Forna	96 597 71 45
C-17	ÁRIDOS FILAES S.L.	C/ Alejandro Cardona nº9 entlo. 46780 Oliva (Valencia)	96 285 41 09 96 285 53 58
C-18	ARIDOS Y TRANSPORTES S.A.	Ctra. de la Pulgara nº128 30800 Lorca (Murcia)	96 848 86 25
C-19	ARIDOS Y TRANSPORTE PERA S.L.	Pda. Moli Nou, 9 03110 Muxamel	96 595 05 96 96 595 02 40



Figura 20: Lista y localización de las diferentes canteras. (Fuente: Proyecto de Les Deveses)

7.4 Proceso constructivo.

En el proceso constructivo lo primero que se ejecuta son los diques exentos. La construcción de estos diques se puede realizar por vía marítima o por vía terrestre, dependiendo del perfil de la playa, de la profundidad donde está situado el dique y de su propia geometría.

Como los diques exentos son estructuras paralelas a la costa situadas a poca profundidad no se recomienda su ejecución mediante la vía marítima, por lo que se decide construirlos mediante vía terrestre.

Para la ejecución del dique lo primero que hay que realizar es la construcción de un camino de acceso que permita llegar a la localización del dique. Este camino de acceso tendrá una cota entre +0,5 y +1 metro y taludes 1/1, que son los que se forman al verter el todo-uno directamente al mar. El ancho del camino debe tener una plataforma lo suficientemente ancha como para que puedan circular y trabajar la maquinaria, por lo que se fija un ancho de 5,5 metros.

En el caso de que en el momento de la ejecución del dique hay probabilidades de presencia de temporales, el camino de acceso será complementado mediante un manto de protección formado por el material de la capa de filtro del dique.

Una vez llegado a la ubicación del dique se ejecuta el dique arrecife como si fuera un dique exento que tiene la coronación por encima del NMM. Se comenzará vertiendo el todo-uno de cantera que formará el núcleo del dique. Cuando se halla conseguido la geometría deseada, se colocará una capa de piezas de escollera para la ejecución del manto secundario y posteriormente el manto principal. El manto principal llegará hasta el NMM, situado 1 metro por encima de la cota deseada, y posteriormente se rellenará de zahorra artificial para la ejecución de la plataforma de trabajo. Cuando se llegue al final del dique se ejecutará el morro y partiendo de los mismos se irá retirando el material sobrante hasta llegar a la cota de coronación definida.

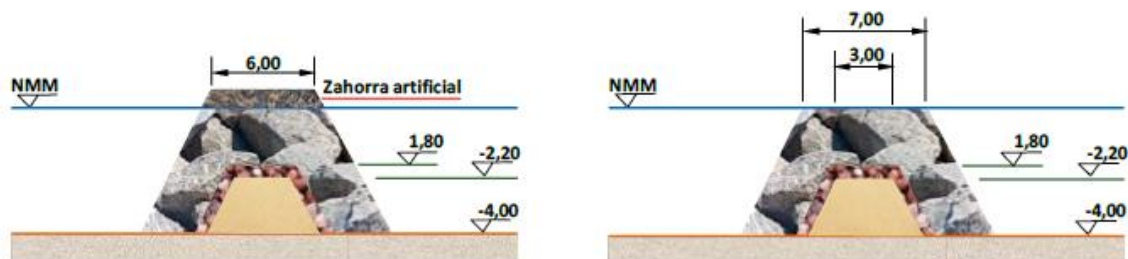


Figura 21: Ejecución dique exento a NMM. (Fuente: Volumen III)

Al finalizar el dique en su totalidad se retira el camino de acceso.

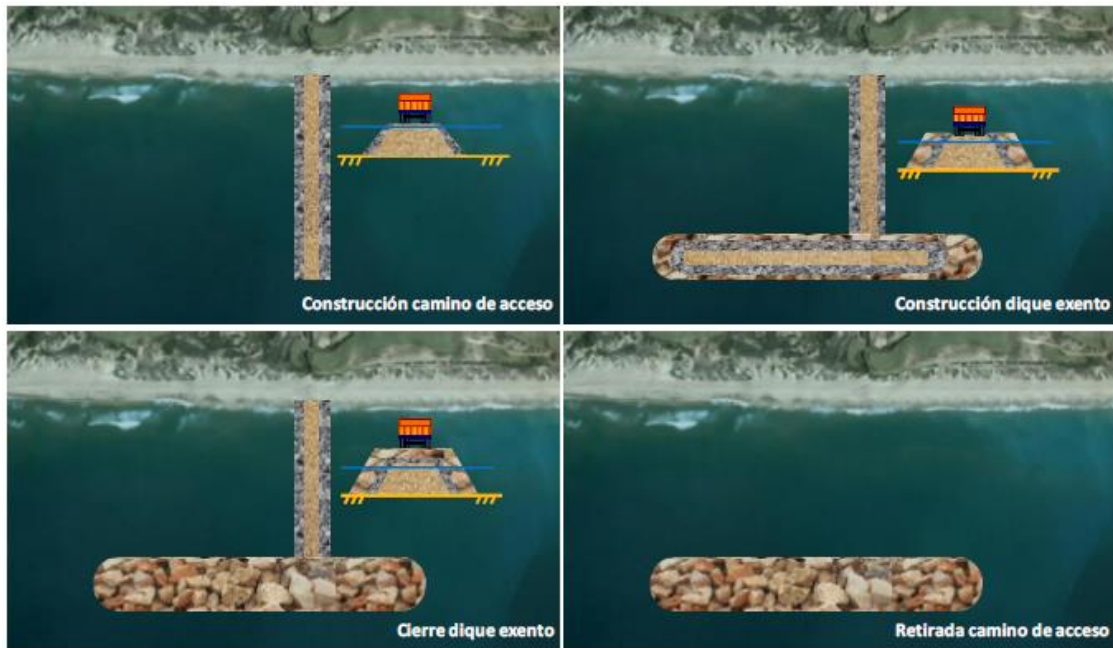


Figura 22: Fase de construcción de un dique exento. (Fuente: Volumen III)

Una vez ejecutado los dos diques exentos se va a realizar la alimentación artificial.

Como se ha especificado con anterioridad, el material de la alimentación artificial proviene de un depósito situado a 60 metros de profundidad en Cullera. Se emplearán dragas capaces de succionar y depositar el material en la playa de Les Deveses. La descarga del material se puede producir tanto por tubería como extracción por chorro.

Ambos métodos aportarán el material a la playa de forma directa, realizando acopios a lo largo de toda la playa. Estos acopios se distribuirán y se extenderán mediante máquina pesada a lo largo de la playa, formando el perfil deseado.



Figura 23: Extensión del material acopiado. (Fuente: Volumen III)

Para la ejecución del sistema dunar se va a realizar mediante la técnica artificial. Esta técnica consiste en la reconstrucción topográfica del sistema dunar adoptando las dimensiones y forma de las dunas existentes. Una vez amontonado la arena con el perfil deseado, se sujeta la arena vertida con los captadores pasivos colocados en cuadrícula. Esta cuadrícula sujeta a la arena que se ha vertido y protege a la vegetación que se coloca justo después de colocar dichos captadores pasivos.

Esta técnica tiene la ventaja de ser sencilla y rápida en comparación con la regeneración de las dunas de forma natural.

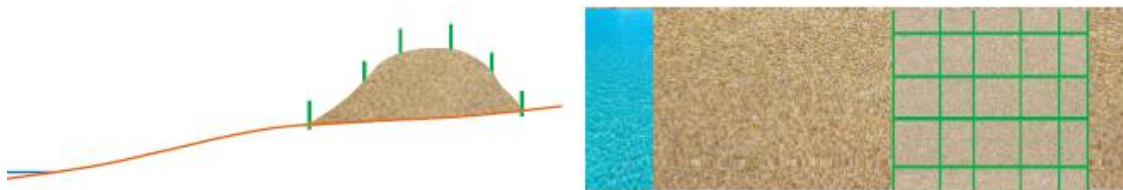


Figura 24: Regeneración con la técnica artificial. (Fuente: Volumen III)

Una vez ejecutada la alimentación artificial y obtenido los perfiles de equilibrio hay que realizar un seguimiento de la evolución de la playa.

Para este seguimiento se deberá controlar la batimetría, la evolución de los perfiles, la forma en planta y la erosión dunar. Todo esto se podrá controlar mediante imágenes de satélites, estudios topográficos y sondeos. Este control se deberá de hacer anualmente y en el caso de encontrar alguna anomalía habrá que buscar una solución.

En el caso de necesidad de aportes de arena, se empleará la arena acumulada en los dos hemitómbolos o de las playas vecinas.

7.5 Valoración económica.

Para hacer una aproximación del coste de esta alternativa se va a emplear la base de precios del IVE (Instituto Valenciano de la Edificación).

La ejecución de toda la alternativa se va a dividir en capítulos que engloban actividades o unidades de obra similares.

CAPITULO 01. – CONSTRUCCIÓN DE DIQUES EXENTOS

N.º	Ud.	Descripción	Medición	Precio	Total
1.1	Tn	Formación de escollera clasificada en espigón o dique ejecutada con bloques de piedra calcárea de 2.00 a 3.00 t procedentes de cantera, incluso el perfilado de taludes, la clasificación del material, su transporte y su colocación desde tierra.	53800 Tn	15.72 €	845.736€
1.2	Tn	Formación de escollera clasificada en espigón o dique ejecutada con bloques de piedra calcárea de 0.20 a 0.40 t procedentes de cantera, incluso el perfilado de taludes, la clasificación del material, su transporte y su colocación desde tierra.	21000 Tn	15.67€	329.070€

1.3	Tn	Suministro y colocación de todo-uno procedente de cantera en núcleo de espigón o dique ejecutada, incluso el perfilado de taludes, el transporte y colocación desde tierra	46000 Tn	13.10€	602.600€
1.4	m3	Relleno y extendido de zahorras con medios mecánicos en capas de 25 cm de espesor máximo.	2300	17.89€	40.897€

CAPÍTULO 02. – ALIMENTACIÓN ARTIFICIAL

N.º	Ud.	Descripción	Medición	Precio	Total
2.1	m3	Dragado de fondo marino en terreno arenoso a una profundidad de 60 metros mediante draga de succión autopropulsada, incluido el acopio o carga del material para su posterior transporte.	928355 m3	6€	5.570.130€
2.2	m3	Regeneración de dunas mediante aportación de arena granítica de cantera, incluso transporte hasta el punto de vertido en obra y extendido	29645.2	14.16€	419.776€

CAPÍTULO 03.- GESTIÓN DE RESIDUOS

N.º	Ud.	Descripción	Medición	Precio	Total
3.1	pa	Gestión de residuos	1	1800	1.800€

CAPÍTULO 04.- SEGURIDAD Y SALUD

N.º	Ud.	Descripción	Medición	Precio	Total
4.1	pa	Seguridad y salud	1	32000	32.000€

Por lo tanto, el presupuesto de ejecución material es:

Capítulo	Importe
01.- Construcción de diques arrecife	1.818.303 €
02.- Alimentación artificial	5.989.906 €
03.-Gestión de residuos	1.800 €
04.-Seguridad y salud	32.000 €
TOTAL	7.842.009 €

Por lo que el presupuesto de licitación quedaría definido como:

Presupuesto ejecución material		7.842.009 €
Gastos Generales	16,00%	1.254.721,44 €
Beneficio Industrial	6,00%	470.520,54 €
Suma		9.567.250,98 €
I.V.A	21,00%	2.009.122,71 €
Presupuesto de licitación		11.576.373,69 €

8. ALTERNATIVA 2: Alimentación artificial y espigones en L.

8.1 Descripción.

Para la alternativa 2 se va a ejecutar 2 espigones en forma de L dividiendo el tramo de estudio en 2.

Tramo 1.

El tramo comienza en la parte más al norte del tramo de estudio y acaba en el nuevo espigón en forma de L, situado a unos 1000 metros del comienzo del tramo.

El nuevo espigón en forma de L va a estar totalmente emergido y el martillo del espigón va a estar orientado hacia el norte de la playa, es decir, siguiendo con el transporte litoral. El espigón va a ser rebasable por lo que va a ser una barrera parcial en el transporte de sedimentos.

Para conseguir el ancho mínimo en la playa, realizando una regeneración dunar y consiguiendo el perfil de equilibrio en todo el tramo, se va a realizar una alimentación artificial. Dicha alimentación artificial se ejecutará de una forma muy similar a la alternativa 1.

Tramo 2.

El tramo está comprendido entre los dos espigones, el nuevo espigón situado al norte y el espigón al final de la playa de Les Deveses.

Ambos espigones tienen forma de L, con el martillo orientado en el sentido del transporte de sedimentos. Para conseguir esto se va a prolongar el espigón existente de tal forma que quede como se ha definido anteriormente.

En este tramo también se va a realizar una alimentación artificial para la regeneración de las dunas y la estabilización de los perfiles del tramo.

Con la ejecución de estos dos tramos se busca hacer una playa de bolsillo en el tramo dos, reconduciendo los sedimentos que han sido transportados por las corrientes a lo largo de

la playa. Esto significa que hay que generar una regeneración dura en el tramo 2 y una regeneración dinámica en el tramo 1, tal y como ocurre en el tramo de Meliana.

Los espigones serán rebasables para no interrumpir de manera total el transporte de sedimentos.

8.2 Dimensionamiento.

Espigones transversales.

1. Altura de ola para el cálculo

Como ya se ha calculado para la alternativa 1, la altura de ola de cálculo (Hcal) corresponde con la altura de ola de rotura, tal que:

$$H_{cal} = H_b = 3.6 \text{ metros}$$

Siendo:

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = 296 \text{ m}$$

$$T = 13.78 \text{ s}$$

2. Profundidad de los espigones

Como se busca no interrumpir el transporte de sedimentos de forma total, los dos espigones se van a prolongar como máximo hasta la profundidad que se comience a interrumpir el transporte sólido longitudinal.

Según la distribución de Ippen y Djounjkowski, hasta la profundidad de 4 metros es donde se produce la mitad del transporte sólido longitudinal, y la otra mitad se produce desde dicha profundidad hasta la línea batimétrica -14.

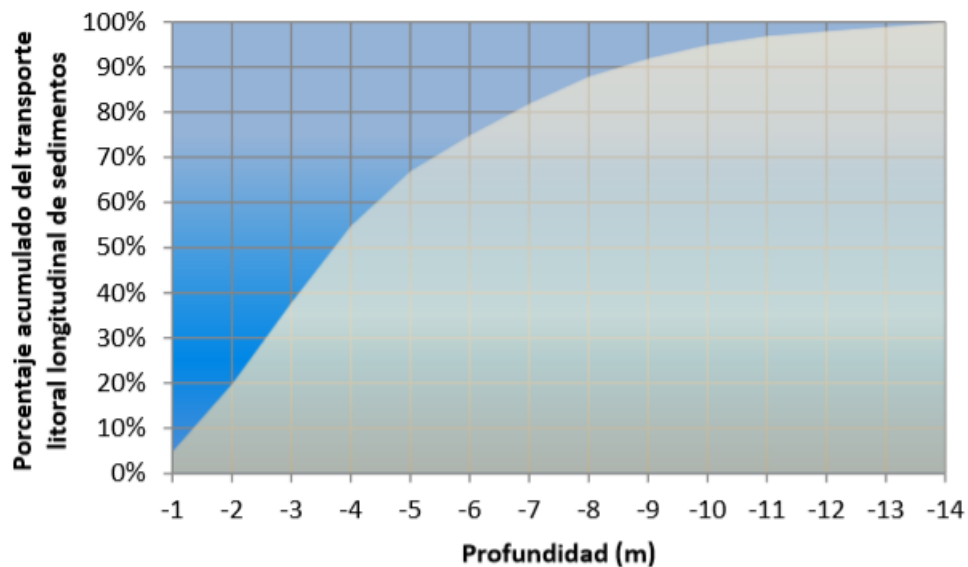


Figura 25: Porcentaje de transporte sólido longitudinal. (Fuente: Volumen III)

Sabiendo que la profundidad de cierre es de 5.5 metros, que es donde el material de la playa puede viajar sin perder la capacidad de retorno desde el punto de vista transversal, se decide que la profundidad de los espigones no sobrepase este valor.

Analizando el transporte transversal y longitudinal, se decide que la profundidad de los espigones llegue hasta -4,5 metros, tal y como se ha especificado para la obtención de la altura ola de cálculo.

$$ds = 4.5 \text{ m}$$

3. Orientación y longitud de los espigones.

Para poder llegar a la profundidad definida los espigones deberán tener una determinada longitud, dependiendo de su orientación.

La orientación de los espigones depende del objetivo del espigón. En este caso, como se busca generar una playa de bolsillo y una protección de la costa a sotamar del segundo espigón, los espigones serán normales a la costa y a las líneas batimétricas, con un pequeño martillo ligeramente inclinado.

Esta orientación normal a la línea de costa será la opción más sencilla, teniendo en cuenta que las alturas de olas, direcciones y periodos del oleaje son diferentes a los originales debido a los fenómenos de difracción, asomeramiento y refracción.

Por lo que, el espigón existente se prolongará normal a la línea de costa hasta alcanzar una longitud de unos 290 metros, y luego el martillo quedará definido por una longitud de 130 metros.

El espigón para construir tendrá una longitud de aproximadamente 250 metros en sentido normal a la costa, y el martillo tendrá una longitud de 120 metros.

4. Geometría y materiales de la sección transversal

Para el diseño de la geometría de la sección transversal se va a suponer unos valores aproximados y se van a trabajar con ellos. Una vez prediseñada la sección transversal se hará las comprobaciones necesarias para determinar si su diseño es correcto o se hay que modificarlo.

Por ello se van a definir los siguientes parámetros:

- Situados a 4.5 metros de profundidad.
- Cota de coronación a 0.5 metros del NMM.
- Altura del dique 5 metros.
- Talud del dique 1:2.
- Dique multicapa.
- Ancho de coronación 5.5 metros

Los espigones van a ser rebasables, aceptando que en los temporales los oleajes de mayor energía sobrepasen el espigón. Esto es debido a que se busca que sea una barrera parcial

del transporte de sedimentos, y a su vez son más económicos que los no rebasables, ya que estos necesitan más cota de coronación.

Se ha considerado emergido ya que proporcionan mejor protección frente al oleaje, se asegura así que el material de la playa regenerada se mantenga durante más tiempo en el tramo protegido y a su vez es más económico el mantenimiento.

Con estos parámetros, que se justificarán más adelante, hay que definir la estructura y los distintos materiales del dique. En este caso en el predimensionamiento se definen tres capas:

- Manto principal de escollera
- Manto secundario, filtro.
- Núcleo formado por todo-uno de cantera.

Para el cálculo de los pesos de las diferentes capas se va a emplear la fórmula ofrecida por el SPM, que es la fórmula de Iribarren modificada por Hudson:

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{(S_r - 1)^3 k_d \cot \alpha}$$

Siendo:

W: Peso de la escollera del manto (Tn).

ps: Peso específico de la escollera, de valor 2,7 Tn/m³.

H: Altura de ola a considerar.

Sr: Peso específico relativo del material respecto del agua= ps / pw

Cotα = Inclinación de los taludes

Kd: Coeficiente de estabilidad.

La altura de ola (H) que hay que introducir en la ecuación de Hudson, está en función del nivel del daño (D).

El SPM indica que, para dimensionar el peso de los bloques de escollera de la capa del manto, hay que cumplir con el Inicio de Averías. Por lo que, el nivel de daño permitido está entorno a D= 0-5% y se toma H=Hcal.

El coeficiente Kd, como se ha visto en la alternativa 1, depende de diversos factores como el oleaje incidente, la sección del dique, el morro o cuerpo, tipo de material, número de capas...

En este caso se escoge escollera angulosa, se colocará de forma especial y el dique estará en condiciones de rotura. Como mínimo dos elementos de escollera en el manto, n=2. Con estos parámetros y con la tabla del SPM se obtiene los valores de Kd.

Table 7-8. Suggested K_D Values for use in determining armor unit weight¹.

No-Damage Criteria and Minor Overtopping						
Armor Units	³ n	Placement	Structure Trunk		Structure Head	
			K_D^2		K_D	
			Breaking Wave	Nonbreaking Wave	Breaking Wave	Slope Cot θ
Quarystone	2	Random	1.2	2.4	1.1	1.5 to 3.0
Smooth rounded	>3	Random	1.6 ₄	3.2	1.4 ₄	2.3
Smooth rounded	1	Random	1.6 ₄	2.9	1.4 ₄	2.3
Rough angular	2	Random	2.0	4.0	1.9	1.5
					1.6	2.0
					1.3	3.0
Rough angular	>3	Random	2.2	4.5	2.1	5
Rough angular	2	Special	5.8	7.0	5.3	5
Parallelepiped ⁷	2	Special	7.0 - 20.0	8.5 - 24.0	--	--
Tetrapod and Quadripod	2	Random	7.0	8.0	5.0	1.5
					4.5	2.0
					3.5	3.0
Tribar	2	Random	9.0	10.0	8.3	1.5
					7.8	2.0
					6.0	3.0
Dolos	2	Random	15.8 ⁸	31.8 ⁸	8.0	2.0 ⁹
					7.0	3.0
Modified cube	2	Random	6.5	7.5	-----	5
Hexapod	2	Random	8.0	9.5	5.0	5
Toskane	2	Random	11.0	22.0	--	5
Tribar	1	Uniform	12.0	15.0	7.5	5
Quarystone (K_{RR})						
Graded angular	-	Random	2.2	2.5	--	--

Tabla 17: Valores coeficiente K_d . (Fuente: SPM Shore Protection Manual)

Por lo que se tiene:

$$K_d \text{ Tronco} = 5,8$$

$$K_d \text{ morro} = 5,3$$

Una vez conocido los materiales que se van a emplear, el peso de cada material y la estructura del dique hay que conocer el espesor de cada una de las capas.

Para obtener el espesor del manto principal que está formado por escollera se ha de obtener el tamaño equivalente de los elementos de la capa, para ello se emplea:

$$l = \sqrt[3]{\text{Volumen}} = \sqrt[3]{\frac{W}{\rho_s}}$$

Una vez obtenido la longitud equivalente se obtiene el espesor de la capa con sabiendo el número de capas por las que está formado el manto y el coeficiente de capa.

$$e = l \times n \times k\Delta$$

Siendo:

- n = Número de capas en el manto
- $k\Delta$ = Coeficiente de capa. El valor es 1 por ser roca angular colocada de forma aleatoria

Manto principal de escollera.

Aplicando la metodología anteriormente descrita se obtiene:

Manto Principal	kd	Cot α	H (m)	ρ_s (Tn/m ³)	ρ_w (Tn/m ³)	Sr (Tn/m ³)	W (Tn)
Cuerpo	5.8	2	3.6	2.7	1.029	2.624	2.54
Morro	5.3	2	3.6	2.7	1.029	2.624	2.78

Tabla 18: Pesos del Manto Principal del dique. (Fuente: Elaboración propia)

Se obtiene un total de 2,54 Tn para el cuerpo del dique y 2.78 Tn para el morro. Se consideran estos pesos como válidos ya que debido a que en los temporales los bloques con un peso inferior a 2 Tn pueden ser vulnerables.

Por lo tanto, el peso de los bloques para cuerpo y morro es:

W cuerpo= 2,6 Tn

W morro = 2,8 Tn

Con estos valores y con las fórmulas anteriores se obtiene el espesor del manto principal:

Manto Principal	n	k Δ	W (Tn)	ρ_s (Tn/m ³)	l (m)	e (m)
Cuerpo	2	1	2.60	2.7	0.99	1.97
Morro	2	1	2.8	2.7	1.01	2.02

Tabla 19: Espesor del Manto Principal del dique. (Fuente: Elaboración propia)

Por lo que se tiene un espesor en el manto principal de:

$$e = 2 \text{ metros}$$

Manto secundario, capa de filtro:

Para el dimensionamiento del manto secundario se va a emplear las mismas recomendaciones que para la alternativa 1, las recomendaciones del SPM. Estas recomendaciones indican que para secciones de dique multicapa en condiciones de “breaking”, situado en aguas poco profundas, se sigue esta sección:

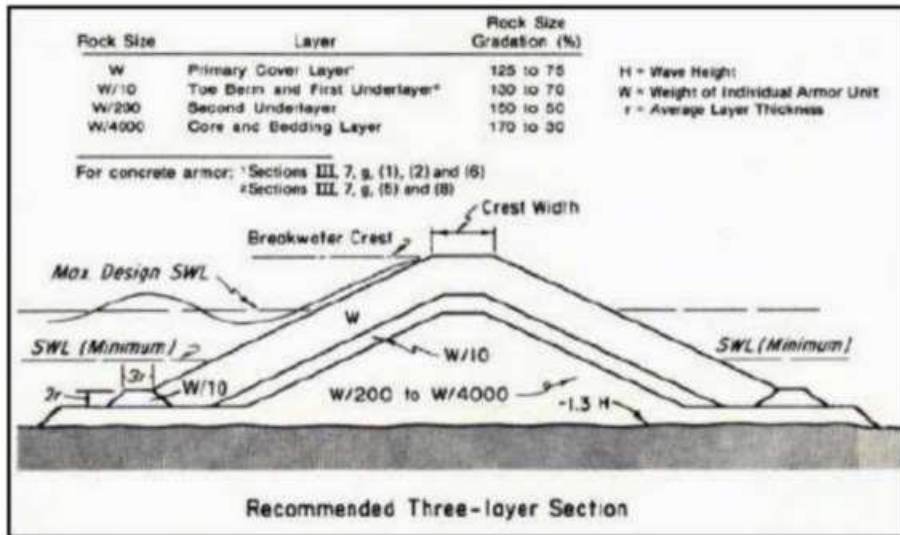


Figura 26: Recomendaciones de un dique escollera. (Fuente: SPM Shore Protection Manual)

El manto secundario hará la función de capa de filtro, por lo que evitará que el material del núcleo se pierda debido a la acción del oleaje. Siguiendo las recomendaciones del SPM el peso de las piezas de esta capa tiene que ser de W/10 y el espesor se calcula con la misma metodología que el manto principal, pero teniendo 1 única capa $n=1$.

Por lo tanto, el manto secundario queda definido como:

$$W_{\text{cuerpo}} = 0,26 T_n = 260 \text{ kg}$$

$$W_{\text{morro}} = 0,28 T_n = 280 \text{ kg}$$

$$e = 0.47 \text{ m}$$

Manto Principal	n	kΔ	W (Tn)	ρs (Tn/m3)	l (m)	e (m)
Cuerpo	1	1	0.26	2.7	0.46	0.46
Morro	1	1	0.28	2.7	0.47	0.47

Tabla 20: Espesor del Manto Secundario del dique. (Fuente: Elaboración propia)

Núcleo interior:

Una vez diseñado el manto y la capa de filtro se dimensiona el núcleo interior. Su función es principalmente evitar en la transmisión de la energía del oleaje. Esta capa está formada por todo-uno de cantera y debido a su baja porosidad puede cumplir su función. Según las recomendaciones del SPM el todo-uno de cantera estará limitado por W/200 y W/4000.

Por lo que el núcleo interior está compuesto por todo-uno de peso:

$$W = \left[\frac{2800}{4000}, \frac{2800}{200} \right] \approx [1,14] \text{ kg}$$

Como resumen se tiene que las distintas capas están formadas por:

Capa		Peso (W)	Espesor (m)
Manto Principal	Cuerpo	2.6 Tn	2.00
	Morro	2.8 Tn	2.00
Manto Secundario	Cuerpo	260 kg	0.47
	Morro	280 kg	0.47
Núcleo central		1-14 kg	

Tabla 21: Resumen pesos y espesores de las capas del dique. (Fuente: Elaboración propia)

Conforme el SPM estas capas pueden variar a lo largo de un intervalo, tal y como se muestra en la siguiente tabla.

Capa		Variación	Peso mínimo	Peso máximo
Manto Principal	Cuerpo	75%-125%	1.95 Tn	3.25 Tn
	Morro	75%-125%	2.1 Tn	3.5 Tn
Manto Secundario	Cuerpo	70%-130%	182 kg	338 kg
	Morro	70%-130%	196 kg	364 kg
Núcleo central		30%-170%	1 kg	24 kg

Tabla 22: Intervalo de pesos en las capas del dique. (Fuente: Elaboración propia)

Una vez definido los pesos y los espesores hay que comprobar si el ancho de coronación propuesto cumple con los anchos mínimos establecidos por el SPM. Los anchos mínimos que se emplean en el manual son:

$$B \geq 3 \times k\Delta \times \sqrt[3]{\frac{w}{\rho s}}$$

Cada uno de los parámetros han sido definido con anterioridad.

Por lo tanto, se tiene que el ancho mínimo de los espigones en la cota de coronación es de:

$$B_{\text{cuerpo}} = 2,96 \text{ metros}$$

$$B_{\text{morro}} = 3,01 \text{ metros}$$

Como los espigones se van a ejecutar por medios terrestres es necesario disponer de un ancho suficiente para el transporte y la operación de las diferentes máquinas. Por todo eso se decide que el ancho de la coronación sea de 5,5 metros.

Bermas de refuerzo.

Por último, se estudia la necesidad de una berma de refuerzo en la estructura.

Como se ha visto en la alternativa 1, para evitar dichos problemas se proyectan unas bermas a los lados del dique. Estas bermas tendrán una anchura de 1.5 metros y una altura de 0.5 metros. Envolverá todo el dique, incluyendo el morro y el cuerpo y estarán compuestos por el mismo material que el manto secundario.

Estas bermas son elementos difíciles de ejecutar y es una solución más costosa.

Regeneración dunar.

La regeneración dunar es exactamente igual que en la alternativa 1, por lo que finalmente se tiene:

La anchura mínima de los cordones dunares se ha fijado en 8 metros y la máxima varía en función del estado de cada tramo.

Las longitudes oscilan desde 25 metros hasta 200 metros, ya que dependen de la tipología de cada tramo y el máximo viene definido por la Servidumbre de acceso al mar de la Ley 22/1988.

Estos 200 metros se establecen para crear accesos a la playa mediante pasarelas longitudinales de 2 metros de ancho. Esto es debido a que una de las causas principales de la erosión de la duna es la pisotear de forma constante e indiscriminada la vegetación de la duna, por esa razón se decide fragmentar el sistema dunar.

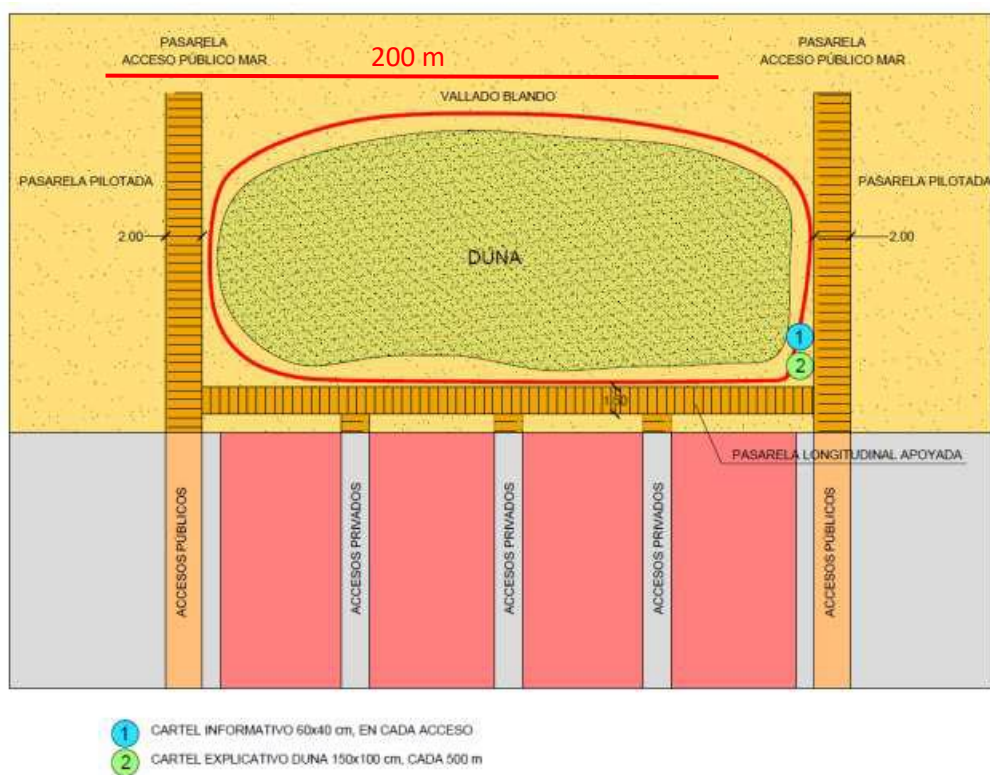


Figura 27: Esquema de configuración de la duna. (Fuente: Proyecto de Les Deveses)

Para el acceso rodado a las playas se generarán accesos cada 500 metros a través de las dunas, al igual que se hace con las pasarelas longitudinales.

Por lo que finalmente se propone: “La creación de nuevos cordones dunares en aquellas zonas en las que ha desaparecido en la actualidad que eleven la cota de la playa para asegurar el resguardo frente a las sobreelevaciones del nivel del mar y las inundaciones por eventos de temporal, cota de coronación igual a 2,6 metros, y anchuras de entre 14 y 38 m; además en las zonas de dunas todavía visibles como formaciones aisladas se actúa regenerando las mismas para constituir verdaderos cordones dunares con cota de coronación igual a 4 metros, y anchuras de entre 8 y 26,50 m, respetando en todos los casos la accesibilidad al mar cada 200 m impuesta por la Ley de Costas.”(Proyecto Les Deveses.pdf, s. f.)

Alimentación artificial.

La alimentación artificial es idéntica a la de la alternativa 1, esta es necesaria para que la actuación de los espigones sea eficaz y se pueda llegar a los perfiles de equilibrio.

Por lo que, empleando los cálculos y la metodología de la alternativa 1 se tiene un volumen total de:

$$V_{tot} = 22804 + 441373,50 = 464177,5 \text{ m}^3$$

Como la granulometría del material de aportación no es idéntica a la del material de la playa, se tendrá que adoptar un factor de sobrealimentación para compensar las pérdidas debido a diferentes granulometrías. Dicho factor de sobrealimentación es de 2.

$$V_{tot} = 2 * 464177,5 = 928.355 \text{ m}^3$$

8.3 Procedencia de materiales.

La procedencia de los materiales, tanto los materiales destinados para la regeneración de la playa, como los destinados para la ejecución de los espigones, será exactamente igual que en la alternativa 1.

8.4 Proceso constructivo.

La construcción de los dos espigones se ejecutará arrancando desde la playa seca por vía terrestre. Se irá vertiendo de forma directa en núcleo, filtro y el manto, mediante la técnica de núcleo-avance.

Para la ampliación del espigón ya ejecutado hay que dismantelar el morro y posteriormente continuar con su ejecución.

Antes de comenzar con la ejecución hay que realizar unos estudios o consideraciones previas.

- Reconocimientos batimétricos de la zona donde va a estar ejecutada el espigón.
- Previsiones de meteorología y clima marítimo para todo el tiempo de construcción.
- Análisis de la propagación del oleaje en diferentes fases de ejecución.
- Establecer umbrales de riesgos para determinadas alturas de ola.
- Creación de protocolos para los diferentes umbrales de riesgo.
- Activación de alarmas y ejecución de los protocolos.

Una vez se realizan los estudios o consideraciones previas, se comienza a colocar los mantos y el núcleo.

Los espigones, a lo largo de la ejecución, se encuentran sometidos a la acción del oleaje. Por eso mismo se irá ejecutando todas las capas del espigón conforme se vaya avanzando.

Pero aun así, hay momentos en los que el espigón no estará lo suficientemente protegido frente a acciones fuertes del oleaje, por lo que hay que trabajar en ventanas de tiempo que el oleaje no afecte de forma considerable a la estructura del espigón.

Empleando la técnica de núcleo-avance, la secuencia de ejecución será.

1. Descarga de los camiones del material del núcleo enfrente de la zona de avance. Los camiones accederán al extremo del dique para verter el material todo-uno.

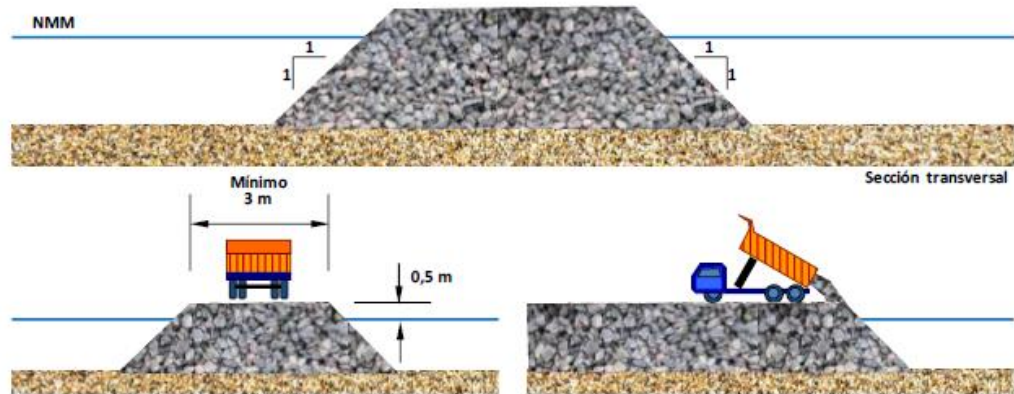


Figura 28: Colocación del núcleo. (Fuente: Volumen III)

2. Mediante maquinaria se empuja el material que ha depositado los camiones y se rectifican los taludes mediante una retroexcavadora hasta obtener los taludes definidos.
3. Tras la colocación del núcleo se repite el mismo procedimiento con las otras capas, con la diferencia que las escolleras del manto se colocarán de forma individualizada mediante grúa.

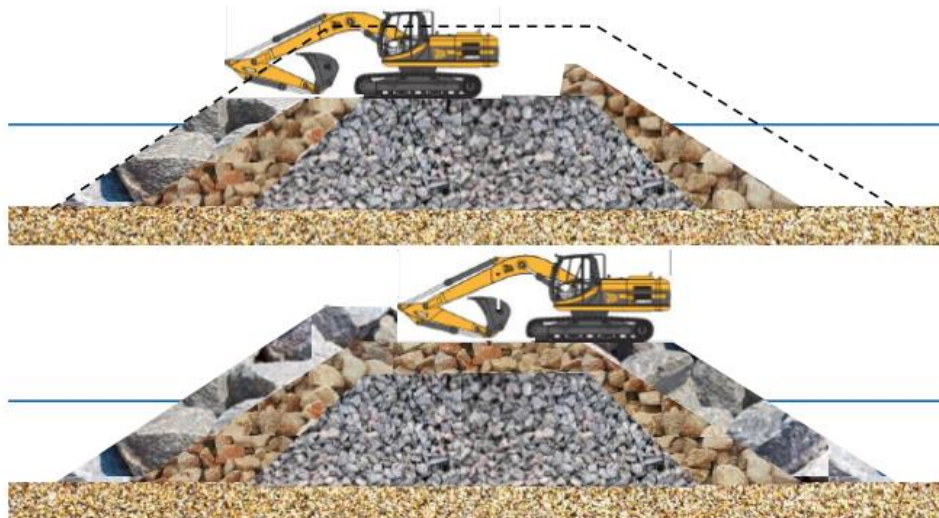


Figura 29: Colocación del manto. (Fuente: Volumen III)

Para la ejecución de los mantos de protección hay que aclarar que la coronación no se ejecutará hasta que se haya llegado al final del espigón (el morro). Una vez llegado al final se recorrerá el camino inverso acabando la coronación y así cerrando la sección del espigón.

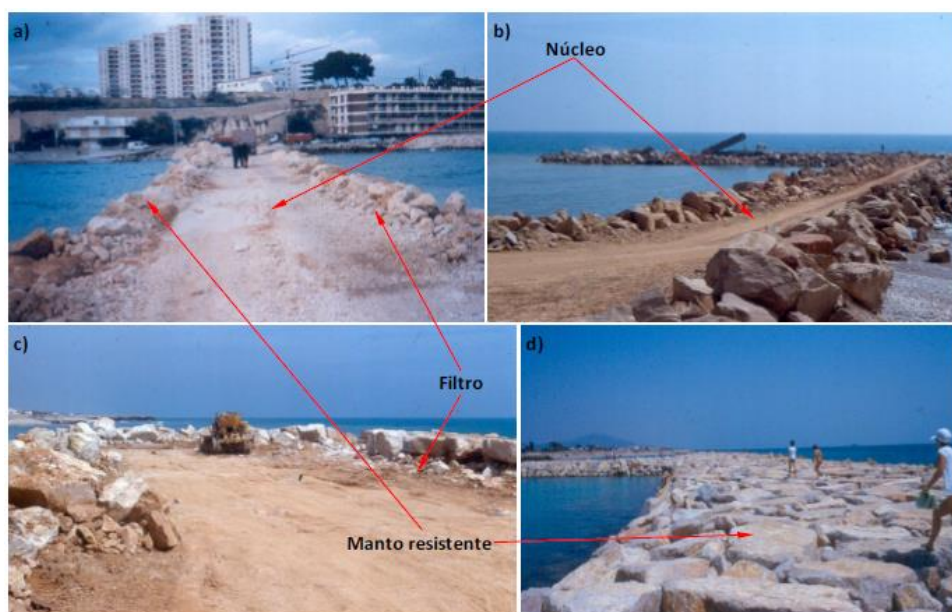


Figura 30: Construcción del espigón. (Fuente: Volumen III)

8.5 Valoración económica.

Para hacer una aproximación del coste de esta alternativa se va a emplear la base de precios del IVE (Instituto Valenciano de la Edificación).

La ejecución de toda la alternativa se va a dividir en capítulos que engloban actividades o unidades de obra similares.

CAPITULO 01. – CONSTRUCCIÓN DE ESPIGONES

N.º	Ud.	Descripción	Medición	Precio	Total
1.1	Tn	Formación de escollera clasificada en espigón o dique ejecutada con bloques de piedra calcárea de 2.00 a 3.00 t procedentes de cantera, incluso el perfilado de taludes, la clasificación del material, su transporte y su colocación desde tierra.	77000 Tn	15.72 €	1.210.440€
1.2	Tn	Formación de escollera clasificada en espigón o dique ejecutada con bloques de piedra calcárea de 0.20 a 0.40 t procedentes de cantera, incluso el perfilado de taludes, la clasificación del material, su transporte y su colocación desde tierra.	17912 Tn	15.67€	280.678€
1.3	Tn	Suministro y colocación de todo-unos procedente de cantera en núcleo de espigón o dique ejecutada, incluso el perfilado de taludes, el transporte y colocación desde tierra	28518 Tn	13.10€	373.586€

CAPÍTULO 02. – ALIMENTACIÓN ARTIFICIAL

N.º	Ud.	Descripción	Medición	Precio	Total
2.1	m3	Dragado de fondo marino en terreno arenoso a una profundidad de 60 metros mediante draga de succión autopropulsada, incluido el acopio o carga del material para su posterior transporte.	928355 m3	6€	5.570.130€
2.2	m3	Regeneración de dunas mediante aportación de arena granítica de cantera, incluso transporte hasta el punto de vertido en obra y extendido	29645.2	14.16€	419.776€

CAPÍTULO 03.- GESTIÓN DE RESIDUOS

N.º	Ud.	Descripción	Medición	Precio	Total
3.1	pa	Gestión de residuos	1	1800	1.800€

CAPÍTULO 04.- SEGURIDAD Y SALUD

N.º	Ud.	Descripción	Medición	Precio	Total
4.1	pa	Seguridad y salud	1	32000	32.000€

Por lo tanto, el presupuesto de ejecución material es:

Capítulo	Importe
01.- Construcción de diques arrecife	1.864.704 €
02.- Alimentación artificial	5.989.906 €
03.-Gestión de residuos	1.800 €
04.-Seguridad y salud	32.000 €
TOTAL	7.888.410 €

Por lo que el presupuesto de licitación quedaría definido como:

Presupuesto ejecución material		7.888.410 €
Gastos Generales	16,00%	1.262.145,6 €
Beneficio Industrial	6,00%	473.304,6 €
Suma		9.623.860,2 €
I.V.A	21,00%	2.021.010,64 €
Presupuesto de licitación		11.644.870,84 €

9. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Para la selección de la alternativa se va a analizar de forma cualitativa las diferentes alternativas, tanto su valoración económica como su procedimiento constructivo como su impacto tanto medioambiental como socioeconómico.

Analizando las dos alternativas se ha seleccionado la alternativa 1: Alimentación Artificial y Diques Exentos.

Se ha seleccionado esta alternativa por diversas causas:

- Desde el punto de vista de impacto ambiental, esta alternativa no solo regenera los ecosistemas dunares, sino que da pie a emplear los propios diques como arrecifes artificiales y como barrera para las redes de pesca de arrastre que destruyen todo el fondo marino.
- Desde el punto de vista de impacto socioeconómico, los diques exentos no generan ningún impacto visual. Estos ayudan a frenar la pesca de arrastre que se efectúa de forma ilegal ya que engancha y rompe las redes que se emplean para este tipo de pesca.
- La ejecución de estos diques es más complicada que los espigones transversales, ya que se necesita canales de acceso y la retirada del material excedente, pero no hay una diferencia exagerada con los anteriores.
- El propio dique sirve como protección en los temporales, haciendo que las olas de gran altura rompan al llegar a su profundidad; y a su vez sirven como barrera en el transporte transversal.

Por lo que esta alternativa ya desarrollada ha sido la seleccionada.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA. *OBM_Tema 18 Estudio y caracterización de la costa* [Archivo PDF].
2. ALONSO HERAS, J. (2018). *Proyecto Les Deveses*. [Archivo PDF].
3. *ROM 0_3-91.pdf*. (4 de agosto de 2021). Recuperado de https://widispe.puertos.es/rom/storage/public/docROM/ROM%200_3-91.pdf
4. *Base de datos de construcción. IVE*. (29 de noviembre de 2021). Recuperado de <https://bdc.f-ive.es/BDC21/1>
5. SERRA PERIS, J. *Volumen III. Actuaciones Costeras*.